



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ
ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ
ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ ΜΑΥΡΟΜΜΑΤΙ**



ΒΡΥΖΑΣ Δ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΒΟΛΟΣ 2011

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους αυτούς τους ανθρώπους που συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ Ψιλλοβίκο Άρη, Επίκουρο Καθηγητή, στο Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του, τόσο κατά τη διεξαγωγή του πειράματος όσο και κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τους:

1)κ.Σκόρδας Κωνσταντίνο Λέκτορα στο Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, και

2)κα. Κάγκαλου Ιφιγένεια , Επίκουρη Καθηγήτρια, στο Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας,για τις χρήσιμες συμβουλές τους και την καθοδήγησή τους καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους τους φίλους μου για την συνεχή υποστήριξη τους .

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκε το μαθηματικό μοντέλο υδατικού ισοζυγίου (MedBasin) για να διερευνηθεί το υδατικό ισοζύγιο στη λεκάνη απορροής του φράγματος μαυρομμάτι. Το medbasin είναι ένα μαθηματικό σύστημα που αντιπροσωπεύει μια ρεαλιστική κατάσταση, όπου εκφράζεται η αναπαραγωγή της συμπεριφοράς και απόκρισης ενός φυσικού συστήματος. Υδρολογικό ή υδατικό ισοζύγιο μιας λεκάνης απορροής είναι η μαθηματική έκφραση του υδρολογικού της κύκλου. Η λειτουργία της λεκάνης απορροής εξομοιώνεται με τη λειτουργία μιας εννοιολογικής δεξαμενής αποθήκευσης νερού. Ως είσοδοι δίνονται η βροχόπτωση και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή και ως έξοδοι η απορροή και η πραγματική εξατμισοδιαπνοή. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα βροχόπτωσης, εξάτμισης και απορροής σε ημερήσια βάση για τη χρονική περίοδο 2008-2009 τα οποία χρειάζεται το μοντέλο για να προσομοιώσει τη μετρημένη απορροή. Οι καθημερινές τιμές των βροχοπτώσεων και της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής στο κέντρο βάρους της λεκάνης απορροής, χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου, ενώ η καθημερινή και μηνιαία απορροή είναι το αποτέλεσμα που εξάγει το μοντέλο σε διάγραμμα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Η επιστήμη της υδρολογίας	3
1.1.1 Βασικές διεργασίες της υδρολογίας	5
1.2. Ο υδρολογικός κύκλος	6
1.3. Εκτίμηση του νερού της Γης	8
1.4. Γενική υδρογραφία της Ελλάδας	10
1.5. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	11

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1. Περιγραφή της λεκάνης απορροής	13
2.2. Γενικά για τα υδρολογικά μοντέλα	18
2.2.1 Κατηγορίες μοντέλων	19
2.3. Γενικά για το MEDBASIN	21

Διάγραμμα ροής του προτύπου (Med Basin)	22
---	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1	Ο υδρολογικός κύκλος
Εικόνα 1.2	Παγκόσμια κατανομή νερού
Εικόνα 1.3	Λεκάνη απορροής φράγματος μαυρομάτι
Εικόνα 2.1	Λεκάνη απορροής φράγματος Μαυρομάτι
Εικόνα 2.2	Άποψη του φράγματος Μαυρομάτι
Εικόνα 2.3	Το διάγραμμα ροής του μοντέλου MEDBASIN
Εικόνα 2.4	Αρχική επιλογή προγράμματος
Εικόνα 2.5	Κεντρικό παράθυρο επιλογών του Medbasin
Εικόνα 2.6	Δομή επιλογών του Medbasin
Εικόνα 2.7	Δεδομένα σε φύλλο εργασίας Excel
Εικόνα 2.8	Επιλογή δεδομένων βροχόπτωσης
Εικόνα 2.9	Επιλογή μονάδων μέτρησης μηνιαίας απορροής
Εικόνα 2.10	Επιλογή δεδομένων εξάτμισης-πιθανής εξατμισοδιαπνοής
Εικόνα 2.11	Επιλογή μηνιαίων σταθερών k
Εικόνα 2.12	Δημιουργία αρχείου δεδομένων
Εικόνα 2.13	Δημιουργία αρχείου βροχοπτώσεων
Εικόνα 2.14	Δημιουργία κλιματικών σεναρίων
Εικόνα 2.15	Εύρος παραμέτρων βαθμονόμησης
Εικόνα 2.16	Διάγραμμα μετρημένης-εκτιμημένης απορροής
Εικόνα 2.17	Παράθυρο επιλογών προεπισκόπησης εκτύπωσης διαγραμμάτων
Εικόνα 2.18	Επιλογές ιδιοτήτων διαγράμματος
Εικόνα 3.1	Σύγκριση τιμών μετρημένης (κόκκινο) και εκτιμημένης (μαύρο) απορροής από Σεπτέμβριο 2008 έως Αύγουστο 2009 σε μονάδες m ³ /s

Εικόνα 3.2 Διάγραμμα μετρημένης ροής από Σεπτέμβριο 2008 έως Αύγουστο 2009 σε μονάδες m^3/s

Εικόνα 3.3 Διάγραμμα Δυνητικής Εξατμισοδιαπνοής από Σεπτέμβριο 2008 έως Αύγουστο 2009 σε μονάδες mm

Εικόνα 3.4 Διάγραμμα Βροχόπτωσης από Σεπτέμβριο 2008 έως Αύγουστο 2009 σε μονάδες mm

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1.1 Εκτίμηση της παγκόσμιας κατανομής νερού

Πίνακας 1.2 Κατανομή υδάτων στον Ελλαδικό χώρο

Πίνακας 2.1 Δεδομένα βροχόπτωσης (σε mm) για το έτος 2008-2009

Πίνακας 2.2 Δεδομένα μετρημένης απορροής(l/s) για το έτος 2008-2009

Πίνακας 2.3 Δεδομένα εξατμισοδιαπνοής (mm) για το έτος 2008-2009

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Η επιστήμη της υδρολογίας

Ο τυπικός ορισμός που μπορεί να δοθεί για την επιστήμη της υδρολογίας, ο οποίος φθάνει τα όρια της γενικής αποδοχής δίνεται από τον Chow (1964) και αποδίδεται ως εξής:

“Υδρολογία είναι η επιστήμη του γήινου νερού και περιλαμβάνει την εμφάνιση, κυκλοφορία και κατανομή του, τις χημικές και φυσικές του ιδιότητες και την αλληλεπίδραση του με το περιβάλλον”. Επομένως μπορούμε να εννοήσουμε ότι αντικείμενο της υδρολογίας είναι η συμπεριφορά του οπουδήποτε της γης νερού.

Σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, η υδρολογία είναι μια πολύ ευρεία επιστήμη, η οποία μπορεί να δανείζεται ένα πλήθος στοιχείων από άλλους κλάδους διαφόρων επιστημών τα οποία μπορεί να ενσωματώνει σε δικές τις ολοκληρωμένες διαδικασίες, για την διερεύνηση των διαφόρων υδρολογικών προβλημάτων που μπορεί να εμφανιστούν στην εξέλιξή της. Ορισμένες από αυτές τις επιστήμες που χρησιμοποιούνται βοηθητικά στην υδρολογική έρευνα μπορεί να είναι η φυσική, η χημεία, τα μαθηματικά, η μετεωρολογία, η γεωλογία, η στατιστική και αρκετές άλλες. Παρόλα αυτά η υδρολογία έχει το πλεονέκτημα διότι μπορεί και διακρίνεται σε *τρεις βασικούς τομείς*, όπου αυτοί έχουν το προνόμιο να παρουσιάζουν μια αυτονομία μεταξύ τους. Αυτοί οι τομείς είναι οι ακόλουθοι:

1. Η **Υδρομετεωρολογία**, η οποία έχει ως κύριο αντικείμενο τη μελέτη των διαφόρων επιπτώσεων από μετεωρολογικά φαινόμενα που παίρνουν μέρος στις υδρολογικές διαδικασίες.
2. Η **Υδρογεωλογία**, όπου κύρια ασχολία της είναι η μελέτη των υπόγειων νερών.

3. Η **Ποταμολογία**, με βασικό σκοπό τη σωστή μελέτη της συμπεριφοράς και της δίαυτας των επιφανειακών υδάτινων ρευμάτων.

Επιπλέον ορισμένοι άλλοι τομείς που μπορούν να θεωρηθούν ιδιαίτερα σημαντικοί για την επιστήμη της υδρολογίας είναι η Λιμνολογία, η οποία ασχολείται με τη μελέτη των λιμνών αλλά και η Κρυολογία, που ως κύριο αντικείμενο μελέτης έχει τη μελέτη του χιονιού και του πάγου.

Όσον αφορά τη *σωστή υδρολογική διερεύνηση μιας οποιασδήποτε περιοχής* λαμβάνουμε υπόψη τρεις παραμέτρους:

1. Μέτρηση, καταγραφή και ταξινόμηση των παρατηρήσεων υδρολογικών παραμέτρων.
2. Σωστή χρήση των παρατηρήσεων αυτών για τη διαμόρφωση βασικών υδρολογικών θεωριών ή την επέκταση των ήδη υφιστάμενων και
3. Την εφαρμογή των δεδομένων και των διαφόρων θεωριών για την επίλυση των υδρολογικών προβλημάτων. Επομένως σύμφωνα με την παραπάνω μπορούμε να έχουμε μια σωστή αλλά και πετυχημένη υδρολογική ανάλυση Linsley et al. (1949)

Επιπλέον, η επιστήμη της υδρολογίας εξετάζει τις διαφορετικές φάσεις του νερού οι οποίες καθορίζονται από τις χωρικές και χρονικές μεταβολές της έντασης του και παρουσιάζονται ποικίλες και περίπλοκες διεργασίες πρωταρχικού ενδιαφέροντος. Το πεδίο μελέτης της υδρολογίας περιλαμβάνει την ατμόσφαιρα (μέχρι περίπου 15 Km), την επιφάνεια και το εσωτερικό της λιθόσφαιρας (μέχρι 1 Km) και την υδατόσφαιρα (ωκεανούς). Εντός του συστήματος των τριών αυτών χώρων εξελίσσεται ο υδρολογικός κύκλος.

Όσον αφορά τους κλάδους της υδρολογίας, αυτοί είναι οι εξής τέσσερις : Φυσική υδρολογία, Τεχνική υδρολογία, Προσδιοριστική (deterministic) υδρολογία

(Εμπειρικές διαδικασίες), Στατιστική υδρολογία (Πιθανολογική, Στοχαστική χρονική ακολουθία στη δομή των υδρολογικών συμβάντων).

1.1.1 Βασικές διεργασίες της υδρολογίας:

- **Κατακρήμνιση *precipitation***: Σχηματίζεται κατά την ανύψωση, ψύξη και συμπύκνωση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα). Τα βασικά στάδια είναι η δημιουργία συνθηκών κορεσμού, το σημείο δρόσου, η αλλαγή φάσης περιεχομένου νερού από υδρατμούς σε υγρή ή και στερεή φάση και η αύξηση μικρών σταγονιδίων νερού ή κρυστάλλων πάγου σε κατακρημνίσσιμο μέγεθος. Έπειτα μετρούμε τη βροχή, μελετούμε τις δομές, τις γεωγραφικές επιδράσεις και την ομοιογένεια.
- **Εξάτμιση – *evaporation***, όταν θεωρούμε ότι λαμβάνει χώρα από κορεσμένες επιφάνειες (επιφάνεια της θάλασσας, «καθρέπτης» λίμνης κλπ.)
- **Διαπνοή – *transpiration***, όταν θεωρούμε ότι λαμβάνει χώρα από το έδαφος, το φυτό και την ατμόσφαιρα
- **Δυνητική εξατμισοδιαπνοή – *potential evapotranspiration*** το ιδεατό μέγεθος της μέγιστης δυνητικά ποσότητας νερού που μπορεί να εξατμιστεί εάν θεωρήσουμε απεριόριστη την τροφοδότηση του νερού.
- **Διήθηση – *infiltration*** είναι η εισχώρηση του νερού από την επιφάνεια του εδάφους προς του υπόγειους υδροφορείς. Εξαρτάται από τις παρακάτω διεργασίες:
 1. **Υπόγεια ύδατα** (εκφόρτιση στα ποτάμια)
 2. **Προηγούμενες συνθήκες υγρασίας εδάφους**
 3. **Δημιουργία απορροής** (η ποσότητα των κατακρημνισμάτων που δεν απορροφάται από το έδαφος συγκρατείται στην επιφάνεια του

εδάφους. Αν υπάρχει κατάλληλη κλίση, το νερό στην επιφάνεια του εδάφους απορρέει δημιουργώντας την επιφανειακή απορροή, συγκεντρώνεται σε δίκτυο χειμάρρων, καναλιών ποταμών και καταλήγει στις θάλασσες και ωκεανούς).

4. Διόδευση απορροής

1.2 Ο υδρολογικός κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος ή αλλιώς ο κύκλος του νερού, περιγράφει την παρουσία και την κυκλοφορία του νερού στην επιφάνεια της Γης, καθώς και κάτω και πάνω από αυτή. Το νερό της Γης είναι πάντα σε κίνηση και πάντα σε αλλαγή, από την υγρή μορφή στην αέρια μορφή ή σε πάγο και αντίστροφα. Ο κύκλος του νερού λειτουργεί εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια. Η ζωή στη Γη εξαρτάται από αυτόν. Ο υδρολογικός κύκλος θεωρείται ότι ξεκινά από τη θάλασσα. Ο ήλιος, που κινεί τον κύκλο του νερού, θερμαίνει το νερό στη θάλασσα (στους ωκεανούς), το οποίο εν μέρει εξατμίζεται και ανυψώνεται με τη μορφή υδρατμών στον αέρα. Νερό εξατμίζεται ακόμα και από τις λίμνες, τα ποτάμια και το έδαφος. Η διαπνοή των φυτών είναι μια ακόμα λειτουργία που αποδίδει υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση και η διαπνοή από την ξηρά συχνά δεν διακρίνονται και έτσι αναφερόμαστε σε εξατμισοδιαπνοή (Αβραμάκη, 2007)

Ανοδικά ρεύματα ανεβάζουν τους υδρατμούς στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας όπου οι χαμηλότερες πιέσεις που επικρατούν έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας. Σε χαμηλή θερμοκρασία ο αέρας δεν μπορεί να συγκρατήσει όλη την μάζα των υδρατμών και έτσι ένα μέρος αυτών συμπυκνώνεται και σχηματίζει τα σύννεφα. Τα ρεύματα του αέρα κινούν τα σύννεφα γύρω από την υδρόγειο. Παράλληλα τα σταγονίδια του νερού που σχηματίζουν τα σύννεφα

συγκρούονται και μεγαλώνουν, με αποτέλεσμα να πέφτουν στο έδαφος με την μορφή κατακρημνισμάτων (βροχή, χιόνι). Η μεγαλύτερη ποσότητα των κατακρημνισμάτων πέφτει απευθείας στους ωκεανούς. Από την ποσότητα που πέφτει στο έδαφος, ένα σημαντικό μέρος καταλήγει πάλι στους ωκεανούς μέσω ροής λόγω της επίδρασης της βαρύτητας, ως επιφανειακή απορροή. Η μεγαλύτερη ποσότητα της επιφανειακής απορροής μεταφέρεται στους ωκεανούς μέσω των ποταμών, με τη μορφή ροής σε υδατορεύματα. Η επιφανειακή απορροή μπορεί να καταλήξει και στις λίμνες, οι οποίες μαζί με τους ποταμούς, αποτελούν τις κυριότερες αποθήκες γλυκού νερού.

Ωστόσο, το νερό των κατακρημνισμάτων δεν ρέει αποκλειστικά μέσα στους ποταμούς. Κάποιες ποσότητες διαπερνούν το έδαφος με τη λειτουργία της διήθησης και σχηματίζουν το υπόγειο νερό. Μέρος αυτού μπορεί να καταλήξει πάλι στους ωκεανούς ως εκφόρτωση υπόγειου νερού. Όταν βρίσκει διόδους προς την επιφάνεια τότε εμφανίζεται με τη μορφή πηγών. Ένα άλλο μέρος εισχωρεί βαθύτερα και εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς, οι οποίοι μπορούν να αποθηκεύσουν τεράστιες ποσότητες νερού για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ακόμα και το νερό αυτό όμως συνεχίζει να κινείται και με την πάροδο του χρόνου μέρος του εκρέει από τους ωκεανούς όπου ο κύκλος του νερού «τελειώνει» και «ξεκινά».

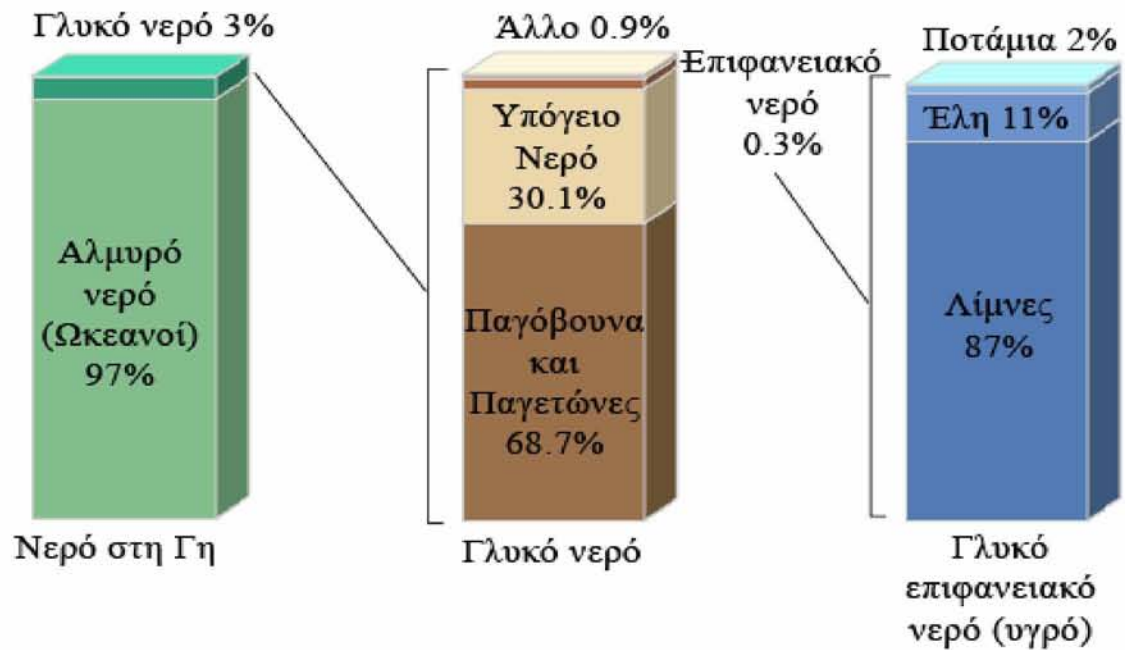


Εικόνα 1.1 Ο υδρολογικός κύκλος

1.3 Εκτίμηση του νερού της Γης

Στη φύση το υδατικό στοιχείο κατέχει περίπου τα 2/3 της επιφάνειας της Γης με τους ωκεανούς και τις θάλασσες, ενώ το υπόλοιπο 1/3 κατέχουν οι ήπειροι, οι οποίες φιλοξενούν τους ποταμούς και τις λίμνες στην επιφάνειά τους και τους υπόγειους υδροφορείς στο βάθος. Οι διάφοροι υδάτινοι πόροι μέσω των διαφόρων διεργασιών του υδρολογικού κύκλου, αποτελούν ανανεώσιμους πόρους του πλανήτη μας και για το λόγο αυτό έχουν τη δυνατότητα αειφορίας. Παρατηρούμε πως από τα συνολικά 1.386 εκατομμύρια κυβικά χιλιόμετρα του νερού στη Γη περισσότερο από 96% είναι αλμυρό. Επίσης, το 68% του γλυκού νερού είναι δεσμευμένο σε πάγο και παγετώνες. Το επιφανειακό γλυκό νερό που βρίσκεται σε ποτάμια και λίμνες είναι συνολικά 93.100 κυβικά χιλιόμετρα και αντιπροσωπεύει περίπου το 1/700 του 1% του συνολικού νερού στη Γη. Παρά ταύτα, τα ποτάμια και οι λίμνες είναι οι βασικές πηγές νερού για την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών.

Παγκόσμια κατανομή νερού



Εικόνα 1.2 Παγκόσμια κατανομή νερού (Αβραμάκη, 2007)

Οι συνολικές ποσότητες νερού που υπάρχουν στη Γη ανακυκλώνονται μέσω του υδρολογικού κύκλου και ανέρχονται σε $1.4 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$ ενώ τα αποθέματα του γλυκού νερού είναι μόλις $36 \cdot 10^{15} \text{ m}^3$, αποτελούν δηλαδή το 2.57% της συνολικής ποσότητας. Το 70% του γλυκού νερού δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο εφόσον είναι δεσμευμένο στους πάγους. Από το υπόλοιπο 30% που βρίσκεται σε υγρή μορφή, το 98% το συναντούμε στους υπόγειους υδροφορείς ενώ το υπόλοιπο 2% βρίσκεται στα ποτάμια και στις λίμνες.

Πίνακας 4.1 Παγκόσμια κατανομή νερού

Μορφή νερού	Όγκος νερού σε km^3	Ποσοστό γλυκού νερού %	Ποσοστό συνολικού νερού %
Ωκεανοί, θάλασσες & κόλποι	1.338.000.000	---	96.5

Μορφή νερού	Όγκος νερού σε km ³	Ποσοστό γλυκού νερού %	Ποσοστό συνολικού νερού %
Παγόβουνα, παγετώνες & μόνιμο χιόνι	24.064.000	68,7	1.74
Υπόγειο νερό	23.400.000	---	1.7
Γλυκό νερό	10.530.000	30,1	0.76
Αλμυρό νερό	12.870.000	---	0.94
Εδαφική υγρασία	16.500	0.05	0.001
Εδαφικός πάγος	300.000	0.86	0.022
Λίμνες	176.400	---	0.013
Γλυκές	91.000	0.26	0.007
Αλμυρές	85.400	---	0.006
Ατμόσφαιρα	12.900	0.04	0.001
Έλη	11.470	0.03	0.0008
Ποταμοί	2.120	0.006	0.0002
Βιολογικό νερό	1.120	0.003	0.0001
Σύνολο	1.386.000.000	---	100

Water resources in Encyclopedia of Climate and Weather, ed. By H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp. 817-823 (Gleick, 1996).

1.4 Γενική υδρογραφία της Ελλάδας

Η Ελλάδα καλύπτεται με εσωτερικά ύδατα, των οποίων η συνολική επιφάνεια καταλαμβάνει περίπου 2200 km² (ποσοστό κάλυψης 1.7%). Η Δυτική Ελλάδα, η οποία αποτελεί την πλέον ομβροφόρα περιοχή, εμφανίζει τη μεγαλύτερη κάλυψη με εσωτερικά νερά (444 km²) και ακολουθεί η Κεντρική Μακεδονία (386 km²), η

Ήπειρος (337 km²), η Ανατολική Μακεδονία και Θράκη (316 km²), η Δυτική Μακεδονία (213 km²), η Στερεά Ελλάδα (159 km²), ενώ μικρότερες εκτάσεις με εσωτερικά ύδατα και υδροτοπικές περιοχές έχουν η Θεσσαλία (59 km²), τα νησιά του Βορείου Αιγαίου (33 km²), τα Ιόνια νησιά (22), η Κρήτη (14) και η Αττική (5 km²) (Αντωνόπουλος, 2010).

Πίνακας 1.2 Κατανομή υδάτων στον Ελλαδικό χώρο

Είδος εσωτερικών υδάτων	Αριθμός	Εμβαδόν (km ²)	Ποσοστό συμμετοχής
Φυσικές λίμνες	56	598	25.90%
Τεχνητές λίμνες	25	358	15.50%
Λιμνοθάλασσες	72	550	24.80%
Έλη	75	58	2.50%
Πηγές	17	1	0.04%
Εκβολές ποταμών	42	43	1.90%
Δέλτα ποταμών	12	680	29.40%
Ποταμοί	91	22	1%
Σύνολο		2310	100%

1.5 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Σε ότι αφορά προηγούμενες εργασίες που έχουν γίνει στον ελλαδικό χώρο και αφορούν ζητήματα εφαρμογής μοντέλων υδατικού ισοζυγίου, καθώς επίσης και σε εφαρμογές του συγκεκριμένου μοντέλου, έχουμε να παρατηρήσουμε τα εξής:

Ο Τίγκας (2003), κατέστρωσε ένα μοντέλο βροχής – απορροής και το εφάρμοσε σε μικρές λεκάνες απορροής σε ελληνικό νησί, στα πλαίσια της μεταπτυχιακής του διατριβής.

Οι Tigkas & Tsakiris (2004) παρουσίασαν μία περίπτωση μελέτης του μοντέλου MEDBASIN σε εργασία τους στο περιοδικό European Water.

Οι Ζαρκάδας κ.α. (2005) μελέτησαν και εξέτασαν το βαθμό επικινδυνότητας που παρουσιάζεται σε περιοχές επιδεκτικές στη διάβρωση, στη λεκάνη απορροής του χειμάρρου Ξηροποτάμου Καστοριάς. Με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (G.I.S.) δημιούργησαν ένα χάρτη – εργαλείο ο οποίος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για να στηρίζει ένα σύστημα άμεσης λήψης αποφάσεων και μέτρων εφαρμογής για να αποφευχθούν φαινόμενα διάβρωσης.

Οι Ψιλοβίκος & Ζαρκάδας (2006) χρησιμοποίησαν ένα μοντέλο υδατικού ισοζυγίου για την εκτίμηση της μηνιαίας απορροής στη λεκάνη απορροής της λίμνης της Καστοριάς. Το μοντέλο βροχής-απορροής των Thornthwaite & Mather χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της μηνιαίας απορροής στην υδρολογική λεκάνη της λίμνης Καστοριάς, με σκοπό τη διερεύνηση του υδατικού της δυναμικού και την ορθολογική της διαχείριση.

Ο Παπανίκος (2008) μελέτησε τη διαχείριση των υδατικών πόρων στην επανασύσταση της λίμνης Κάρλας. Με επιτόπια έρευνα και με αξιολόγηση προγενέστερων ερευνών, κατέληξε σε διάφορα σενάρια για το υδατικό της ισοζύγιο.

2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Περιγραφή της λεκάνης απορροής.

Η λεκάνη απορροής του ρεύματος Μαυρομμάτι (Εικόνα 2.1) στη θέση του υπό κατασκευή φράγματος, ευρίσκεται στα νοτιότερα άκρα του νομού Μαγνησίας, στη βόρεια ομβροπλευρά της Όθρυος, και σε γεωγραφική θέση $22^{\circ}46'$ Α.Γ.Μ. και $39^{\circ}00'30''$ Β.Γ.Π. περίπου. Έχει σχήμα περίπου ημικυκλικό, με προσανατολισμό του άξονα ΒΒΑ – ΝΝΔ. Η κύρια μισγάγγεια διατρέχει τη λεκάνη απορροής με επικρατούσα κατεύθυνση ΝΔ – ΒΑ. Ο προσανατολισμός των πιο εκτεθειμένων ομβροπλευρών είναι βόρειος έως ανατολικός. Το στόμιο της λεκάνης είναι σε υψόμετρο περίπου 810 m. Ο υδροκρίτης, διατρέχοντάς τον προς Δ, αριστερόστροφα, ανεβαίνει προς την κορυφή Πήλιουρας (+1552) που είναι και το υψηλότερο σημείο της λεκάνης. Από εκεί στρέφεται προς Ν και διαγράφοντας περίπου ημικύκλιο, περνά από τα υψώματα Παλούκι (+1331) και Βισαλούδα (περ. +1110). Στο σημείο αυτό έχει προσανατολισμό ΒΑ και τρέπεται σε ΒΒΔ, συνεχώς κατερχόμενος μέχρι να φθάσει στο σημείο εκκίνησης. Η συνολική λεκάνη έχει έκταση και μέσο υψόμετρο 1078 m. Το υδρογραφικό δίκτυο είναι αρκετά ανεπτυγμένο στις χαμηλότερες υψομετρικές ζώνες της λεκάνης που καλύπτονται από σχηματισμούς χαμηλής υδατοπερατότητας (σχιστοκερατόλιθοι, φλύσχης, οφειόλιθοι), όχι όμως και στις ανώτερες που καλύπτονται από υδατοπερατούς καρστικούς ασβεστόλιθους. Το μήκος του κυρίου κλάδου είναι περίπου 2,55 km από το στόμιο της λεκάνης μέχρι το απώτατο σημείο του υδροκρίτη. Η μέση κλίση του κυρίως ρεύματος (μετρημένη ανάμεσα στο 10% και στο 85% του μήκους του) είναι μεγάλη, ίση προς 176,2 m/km (17,62%).

Η λεκάνη στις ανώτερες υψομετρικά ζώνες, στα δυτικά και ανατολικά όριά της, εμφανίζει πολύ αραιή βλάστηση: από ανύπαρκτη, μέχρι αραιή θαμνώδη, της

ζώνης δρυός, με έντονη την ανθρωπογενή επίδραση. Στις περιοχές αυτές η εδαφική κάλυψη είναι υποτυπώδης έως αβαθής, με υφή αργιλώδη. Στις ανώτερες ζώνες του νοτίου τμήματος της λεκάνης εμφανίζονται διαπλάσεις ελάτης, το δε μεγαλύτερο τμήμα αυτής, στις χαμηλότερες υψομετρικά ζώνες, είναι καλυμμένο από μετρίου πυκνότητας θαμνώδη βλάστηση δρυός που συχνά διαθέτει υποόροφο από φτέρες. Στις περιοχές αυτές η εδαφική κάλυψη είναι μετρίου πάχους, με υφή επίσης αργιλώδη (Εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.1 Λεκάνη απορροής φράγματος Μαυροματί (Καραβοκυρός και συν., 2003)



Εικόνα 2.2 Άποψη του φράγματος Μαυροματί

Πίνακας 2.1 Λεδομένα βροχόπτωσης (σε mm) για το έτος 2008-2009

Day	SEP 2008	OCT 2008	NOE 2008	DEC 2008	JAN 2009	FEB 2009	MAR 2009	APR 2009	MAI 2009	JUN 2009	JUL 2009	AUG 2009
1	0	0	0	0	0	0	0	0	2,6	0	0,4	0
2	0	0	0	0	1,2	4	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0,2	7,2	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1,2	0	0	0	0	1,2	0	0
5	0	0	0	0	9,4	0	3	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0,6	2,2	0,8	5	0,8	0	0	7,6	0
7	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0,4	0	0,2	1,6	0	0	0	0	0	2,6
9	0	0	0,8	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0
10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4
11	0,2	0	0	3,8	0	0	8,4	0	0	0	0	4,6
12	1,4	0	0	64	0	2,2	0	0	0	0	0	1
13	0	0	0	0	0	0,3	0	0,4	0	0	0	0
14	5,2	0	0	0	11,5	0,5	0	6	0	0	0	0
15	14,4	0,6	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0
16	6,6	4,2	0	0,2	0	0	5,2	0	0	0	0	0
17	3	0	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0
18	35	0	18	11	0	0	0	0	0,8	0	0	0
19	0	0	9,4	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	7,2	6	0	7	0	0	0	0	1,4
22	26,6	0	0	12	0	8	0,4	0,2	0	0,8	0	0
23	10	0	2,6	0	2,2	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0,4	0	0	0	0	0	2	0	0	0
25	0,2	0	0	0	7	0,8	1,4	0	0	0,2	0	0,6
26	0	0	0	0	0	0	0,4	1,2	0	0	0	0
27	0	0	0	1,3	5	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	6,2	0	0	0	4,2	0	0	0	0,4
29	0	0	0	0,2	0	-	0	0	1,4	9	0	1,8
30	0	0	0	4,8	6,4	-	0	0	0	6	0	0
31	-	0	-	0	3	-	0	-	0	-	0	0,6

Πίνακας 2.2 Δεδομένα μετρημένης απορροής(l/s) για το έτος 2008-2009

SEP 2008	OCT 2008	NOE 2008	DEC 2008	JAN 2009	FEB 2009	MAR 2009	APR 2009	MAI 2009	JUN 2009	JUL 2009	AUG 2009
0	0	0	0	0	0	0	0	0,49	0	0,02	0
0	0	0	0	0,02	0,30	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0,01	0,13	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0,02	0	0	0	0	0,05	0	0
0	0	0	0	0,17	0	0,19	0	0	0	0	0
0	0	0	0,01	0,04	0,06	0,32	0,09	0	0	0,56	0
0	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0,01	0	0,00 3	0,12	0	0	0	0	0	0,10
0	0	0,01	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0
0,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01
0,09	0	0	0,03	0	0	0,54	0	0	0	0	0,19
0,06	0	0	0,57	0	0,16	0	0	0	0	0	0,04
0	0	0	0	0	0,02	0	0,04	0	0	0	0
0,02	0	0	0	0,23	0,03	0	0,72	0	0	0	0
0,06	0,11	0	0	0,01	0	0	0,02	0	0	0	0
0,03	0,77	0	0,01	0	0	0,33	0	0	0	0	0
0,01	0	0,01	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
0,16	0	0,47	0,09	0	0	0	0	0,15	0	0	0
0	0	0,23	0	0	0,09	0	0	0	0	0	0
0	0	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0,01	0,11	0	0,45	0	0	0	0	0,05
0,12	0	0	0,10	0	0,61	0,02	0,02	0	0,03	0	0
0,04	0	0,06	0	0,04	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0,01	0	0	0	0	0	0,38	0	0	0
0,02	0	0	0	0,13	0,06	0,09	0	0	0,01	0	0,02
0	0	0	0	0	0	0,02	0,14	0	0	0	0
0	0	0	0,01	0,16	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0,06	0	0	0	0,51	0	0	0	0,01
0	0	0	0,00	0	0	0	0	0,26	0,44	0	0,07
0	0	0	0,04	0,12	0	0	0	0	0,29	0	0
0	0	0	0	0,06	0	0	0	0	0	0	0,03

Χωρίς να θεωρήσουμε ότι υπεισέρχεται σφάλμα, κάναμε την παραδοχή της ισοκατανομής της μηνιαίας εξατμισοδιαπνοής εξίσου στις ημέρες του μήνα, για κάθε ένα μήνα του υδρολογικού έτους 2008-2009. Μετά την παραδοχή αυτή, προκύπτει ο πίνακας 2.3:

Πίνακας 2.3 Δεδομένα εξατμισοδιαπνοής (mm) για το έτος 2008-2009

Da y	SEP 200 8	OC T 200 8	NO E 200 8	DE C 200 8	JAN 200 9	FEB 200 9	MA R 200 9	AP R 200 9	MAI 200 9	JUN 200 9	JUL 200 9	AU G 200 9	SEP 200 9
1	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
2	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
3	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
4	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
5	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
6	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
7	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
8	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
9	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
10	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
11	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
12	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
13	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
14	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
15	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
16	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
17	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
18	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
19	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
20	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
21	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
22	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
23	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
24	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
25	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
26	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
27	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
28	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	0,77	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
29	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	-	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
30	3,25	1,79	0,9	0,58	0,56	-	1,39	2,28	3,59	4,53	5,05	4,56	3,25
31	-	1,79	-	0,58	-	-	1,39	-	3,59	-	5,05	4,56	-

2.2 Γενικά για τα υδρολογικά μοντέλα:

Το μοντέλο είναι μία σύλληψη μιας εικόνας της πραγματικότητας ή μια θεωρητική επινόηση η οποία συσχετίζεται με κάποια απόκριση του φυσικού συστήματος που εξετάζουμε με μία εξωτερική επίδραση. Η εξωτερική επίδραση αυτή μπορεί να είναι για παράδειγμα (Ψιλοβίκος, 2005):

- η άσκηση μιας δύναμης
- η άντληση μιας παροχής
- η ρύπανση από μία πηγή
- ή οποιαδήποτε άλλη ενέργεια η οποία επηρεάζει ποικιλοτρόπως το σύστημα που εξετάζουμε.

Τα μοντέλα υδατικού ισοζυγίου δίνουν συνολική αναπαράσταση του υδρολογικού κύκλου και των συνιστωσών του σε μια συγκεκριμένη χωρική ενότητα, όπως η υδρολογική λεκάνη, μέσω της οποίας τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα μετασχηματίζονται σε απορροή.

Η επισκόπηση στη διεθνή και ελληνική βιβλιογραφία δείχνει ότι αρκετοί ερευνητές έχουν πραγματοποιήσει μελέτες που αφορούν μοντέλα υδατικού ισοζυγίου σε διάφορες περιοχές και για διάφορες χωρικές και χρονικές κλίμακες. Οι έρευνες αυτές έχουν δείξει ότι για την ικανοποιητική μαθηματική αναπαράσταση των υδρολογικών διεργασιών αρκεί ένας μικρός αριθμός παραμέτρων (τρεις έως πέντε), ενώ η προσθήκη μεγάλου αριθμού παραμέτρων σε υδρολογικά μοντέλα έχει χαρακτηριστεί ως «υπερπαραμετροποίηση» (overparameterization).

Εξ άλλου, όπως πρόσφατα έχει διαπιστωθεί σε εφαρμογές υδρολογικών μοντέλων στην πράξη, είναι συνήθως αρκετή η χρήση ενιαίων τιμών για τις παραμέτρους σε όλο το χώρο της υδρολογικής λεκάνης (lumped), ακόμα και όταν το μοντέλο είναι κατανεμημένο (distributed) ή ημικατανεμημένο (semi-distributed).

Ειδικότερα, τα ημικατανεμημένα μοντέλα με ενιαίες τιμές παραμέτρων (γνωστά και με τον όρο ημιαδιαμέριστα – semilumped) δίνουν αποτελέσματα που πρακτικώς δεν υστερούν από αυτά των πλήρως κατενεμημένων ή ημικατανεμημένων μοντέλων με πολλές παραμέτρους. Παράλληλα η εκτίμηση των παραμέτρων τους είναι κατά τάξεις μεγέθους ταχύτερη από αυτή των μοντέλων που χρησιμοποιούν χωρικά διαφοροποιημένες παραμέτρους.

Τα τελευταία χρόνια πολλά υδρολογικά μοντέλα έχουν τη δυνατότητα να ενσωματώνουν άμεσα τα γεωγραφικά δεδομένα μέσα από τη συνεργασία τους με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών(Γ.Σ.Π). Χαρακτηριστικά μοντέλα αυτής της κατηγορίας είναι το SWAT και το TOPMODEL που έχουν αναπτυχθεί για τη μοντελοποίηση λεκανών απορροής λαμβάνοντας υπόψη τα γεωγραφικά, γεωλογικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά τους. Η χρήση των ΣΓΠ δίνει τη δυνατότητα απεικόνισης της χωρικής κατανομής των συνιστωσών του υδρολογικού κύκλου και της προσομοίωσης στοιχείων του γεωγραφικού χώρου, όπως αυτά διατάσσονται πραγματικά. Ταυτόχρονα επιτυγχάνεται η σύνδεση της γεωγραφικής πληροφορίας με βάση δεδομένων και η ποσοτική εκτίμηση της χωρικής κατανομής όλων των μεταβλητών που εμπλέκονται στο υδατικό ισοζύγιο υδρολογικής λεκάνης.

2.2 Κατηγορίες μοντέλων

- **Σταθερά και ασταθή μοντέλα:** Σταθερό ή μόνιμο λέγεται ένα μοντέλο του οποίου η κυρίαρχη συνάρτηση (governing equation) δεν λαμβάνει υπόψη το χρόνο και η εξέλιξη του φαινομένου είναι ανεξάρτητη από αυτόν. $G = F(x,y,z)$, όπου G η γενικευμένη συνάρτηση και x,y,z οι συντεταγμένες ενώ ασταθές ή μη μόνιμο ή χρονικά εξαρτημένο, είναι το μοντέλο το οποίο

εξαρτάται και μεταβάλλεται με το χρόνο. Έτσι η συνάρτηση γίνεται $G = F(x,y,z,t)$ όπου t ο χρόνος. Το μοντέλο καλείται χρονικά εξαρτημένο

- **Χωρικά και χρονικά:** Είναι τα μοντέλα τα οποία εμφανίζονται ανομοιογενή στο χώρο, κατά μήκος του συστήματος συντεταγμένων, υπολογίζουν τη παραλλακτικότητα τους στη γενικευμένη συνάρτηση $G=F(x,y,z)$, σε ότι αφορά τη χωρική – γεωγραφική κατανομή. Μοντέλα τα οποία εμφανίζονται ομοιογενή στο χώρο, η γενικευμένη συνάρτηση G εξαρτάται μόνο από το χρόνο και τα μοντέλα καλούνται σημειακά. $G=F(t)$
- **Συνεχή και διακριτά μοντέλα.** Τα συνεχή μοντέλα, περιγράφονται από μία συνάρτηση η οποία απεικονίζεται με συνεχής αλλαγές μέσα στο διάστημα του χρόνου $[T_0, T_n]$ για τον οποίο σχεδιάστηκε. Είναι συνήθως απλής μορφής και εύκολης επίλυσης. Τα διακριτά μοντέλα, δεν περιγράφονται από μία και μοναδική συνάρτηση αλλά χρησιμοποιούν ξεχωριστά χρονικά βήματα. Σε μερικές περιπτώσεις το χρονικό βήμα σταθεροποιείται, αλλά σε άλλες μπορεί να είναι κινούμενο.
- **Ντετερμινιστικά και στοχαστικά μοντέλα.** Είναι τα μοντέλα που εάν η γενική συνάρτηση G στηρίζεται στην αρχή αιτίου – αιτιατού, τότε τα μοντέλα καλούνται ντετερμινιστικά. Όταν η γενική συνάρτηση αναπτύσσει μια κατανομή από πιθανές αξίες, χαρακτηρίζεται από μέση διασπορά και τυπική απόκλιση, καθώς επίσης η πρόγνωση παρουσιάζεται από φάσμα πιθανών μεταβλητών, τα μοντέλα καλούνται στοχαστικά (Shuman, 1995)
- **Αναλυτικά και αριθμητικά μοντέλα.** Όταν η παράμετρος G ορίζεται ως αναλυτική λειτουργία της γενικής συνάρτησης, τα μοντέλα καλούνται αναλυτικά (Gertsev & Gertseva, 2002). Αυτά χαρακτηρίζουν ένα πραγματικό σκοπό με μιας ή μερικών τέτοιων εξισώσεων όπου βρίσκουμε μια σωστή

πρόβλεψη των μεταβλητών για κάθε συνάρτηση, σε κάθε κατάσταση για κάθε χρονική στιγμή. Όταν το χρονικό διάστημα του μοντέλου αρχικής κατάστασης, και των συστατικών από τη g είναι ομαδικά αριθμητικά, τότε η απόκτηση του συστήματος εξισώσεων περιλαμβάνει δεκάδες έως εκατοντάδες εξισώσεις, τις οποίες λύνουμε ταυτόχρονα, τα μοντέλα καλούνται αριθμητικά ή προσομοίωσης (Krivtsov,2003)

- **Περιγραφικά μοντέλα.** Δίνουν τη δυνατότητα της προσομοίωσης σύμφωνα με την οποία αντιπροσωπεύουν τις παρούσες συνθήκες με ακρίβεια και συμπληρώνουν δεδομένα που έχουν χαθεί ή δεν έχουν ληφθεί στη χρονοσειρά, παρεμβάλλοντας με κατάλληλους αλγορίθμους στα δεδομένα που έχουν ήδη ληφθεί. Εφαρμόζονται τόσο σε ζητήματα ποιοτικής όσο και ποσοτικής διαχείρισης.

2.3 Γενικά για το medbasin

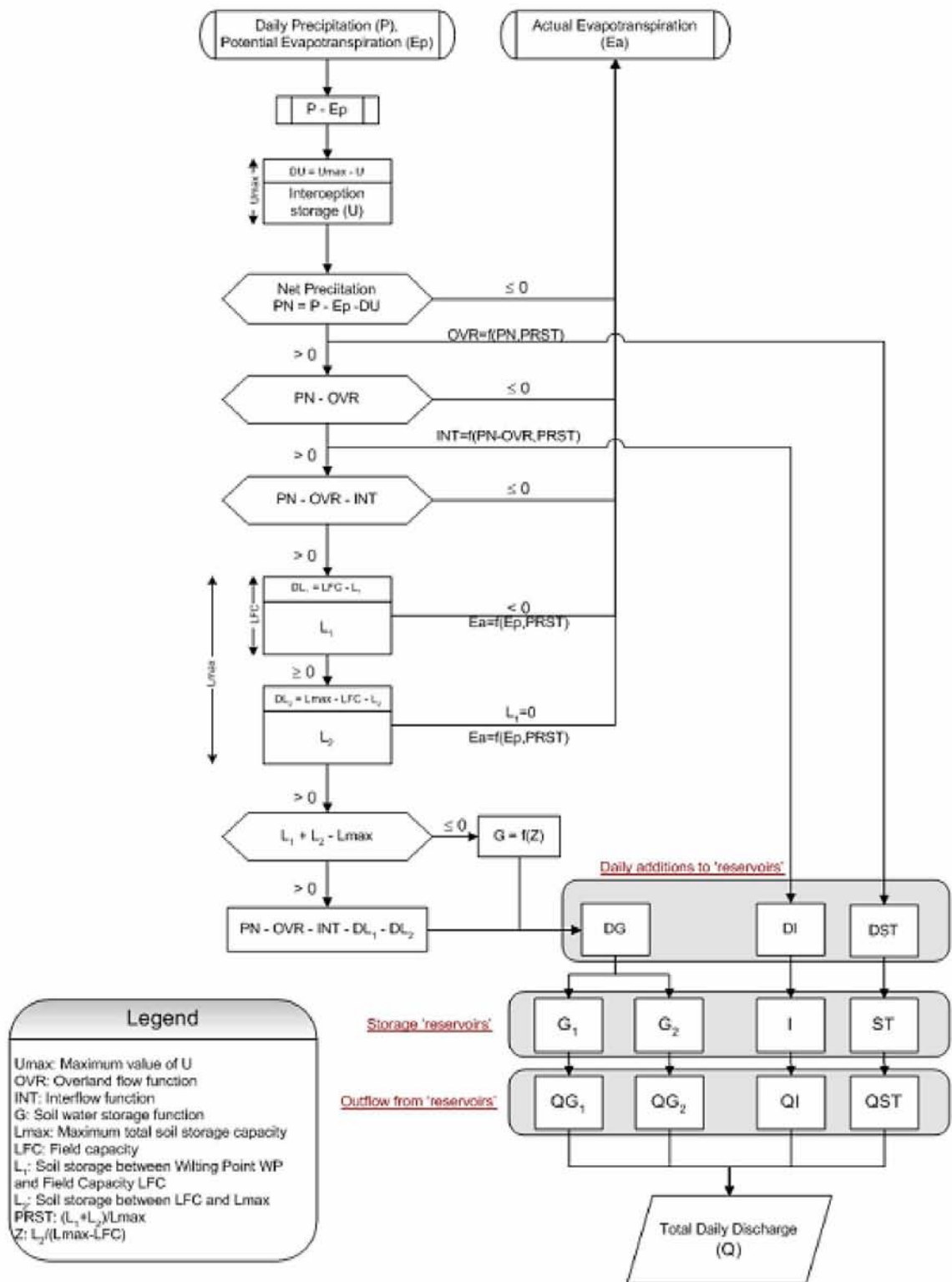
Το μοντέλο αυτό αποτελεί ένα λογισμικό για τις βροχοπτώσεις και τις απορροές στη λεκάνη της Μεσογείου. Αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο Εγγειοβελτιωτικών Έργων & Διαχείρισης Υδατικών Πόρων, της Σχολής Αγρονόμων & Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αποτελεί ένα αυτόνομο πρόγραμμα υπολογιστών για την σχεδίαση του υδρογραφήματος ενός ποταμού. Οι κύριες εισαγωγές στοιχείων του προγράμματος είναι η μέση βροχόπτωση και η πιθανή εξάτμιση του νερού. Το πρόγραμμα είναι προσανατολισμένο για να είναι πιο προσαρμοστικό στις μεσογειακές λεκάνες ποταμών. Ο πυρήνας του λογισμικού κατασκευάζεται από τις βασικές αρχές MERO, ένα εννοιολογικό πρότυπο απορροών – βροχοπτώσεων που προτάθηκε από τον FAO.

Οι παράμετροι του προτύπου αντιπροσωπεύουν τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης και μπορούν να βαθμονομηθούν χρησιμοποιώντας τα μετρημένα στοιχεία απορροών μέσω μιας ημιαυτόματης διαδικασίας. Το πρόγραμμα έχει πολλά πρόσθετα χαρακτηριστικά γνωρίσματα, συμπεριλαμβανομένου του υπολογισμού της μέσης βροχόπτωσης της λεκάνης που χρησιμοποιεί τα σταθμισμένα στοιχεία από τους διαφορετικούς σταθμούς με αυτόματο μετασχηματισμό της εξάτμισης.

Τα υδρολογικά μοντέλα όπως και το μοντέλο Med Basin αποτελούν σύγχρονα εργαλεία ολοκληρωμένης προσέγγισης και διαχείρισης λεκανών απορροής (Pitman, 1973). Επίσης αποτελούν εργαλεία έρευνας σε σενάρια που έχουν να κάνουν με την κλιματική αλλαγή, τις αλλαγές στις πρακτικές διαχείρισης της γης καθώς και στις αλλαγές μέσω ανθρωπογενών επεμβάσεων και κατασκευών.

2.4 Διάγραμμα ροής του προτύπου (Med Basin)

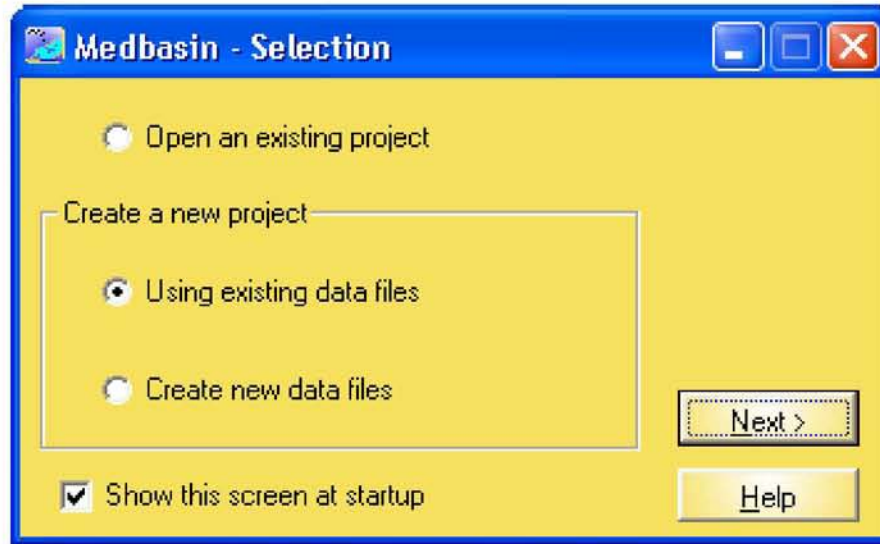
Η διαδικασία προσομοίωσης βροχόπτωσης – απορροής του Med Basin είναι βασισμένη στις βασικές αρχές του προτύπου MERO, το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί σε αρκετά προγράμματα του FAO στις μεσογειακές λεκάνες. Το MERO είναι ένα εννοιολογικό μοντέλο βροχόπτωσης – απορροής βασισμένο στις διαδικασίες του υδρολογικού κύκλου. Οι διαδικασίες αυτές καθώς και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών περιγράφονται από εμπειρικές σχέσεις, όπως η λειτουργία της επιφανειακής απορροής, η λειτουργία της ενδιάμεσης απορροής καθώς και η σχέση αποθήκευσης και επαναφόρτισης του εδαφικού νερού (Τίγκας, 2003). Οι καθημερινές τιμές των βροχοπτώσεων της μέσης λεκάνης και της πιθανής εξατμισοδιαπνοής χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου, ενώ η καθημερινή και μηνιαία απορροή είναι το αποτέλεσμα που εξάγει το πρότυπο (Εικ. 2.3).



Εικόνα 2.3 Το διάγραμμα ροής του μοντέλου MedBasin

2.5 Δομή επιλογών του Medbasin

Όταν ξεκινήσουμε το πρόγραμμα στον ηλεκτρονικό υπολογιστή υπάρχει μια οθόνη επιλογής με τις εξής επιλογές (Εικ. 2.4):

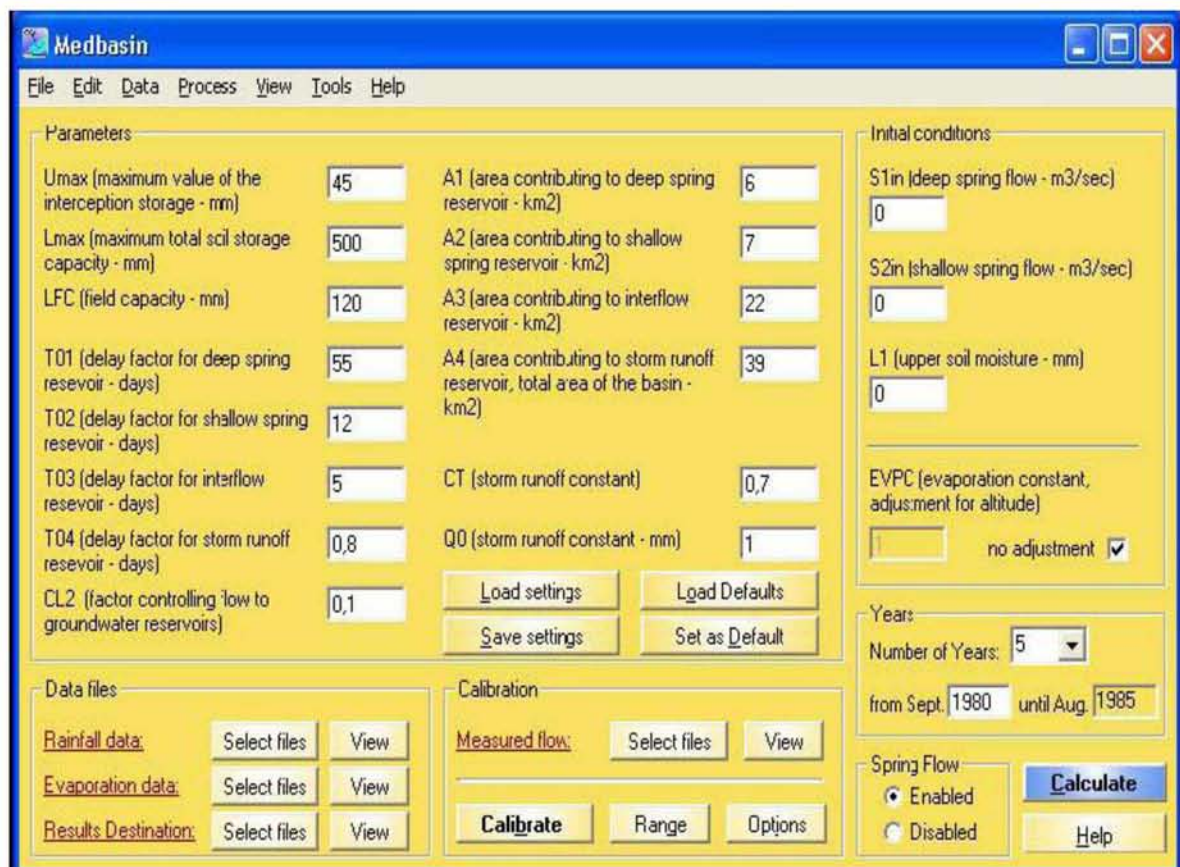


Εικόνα 2.4 Αρχική επιλογή προγράμματος

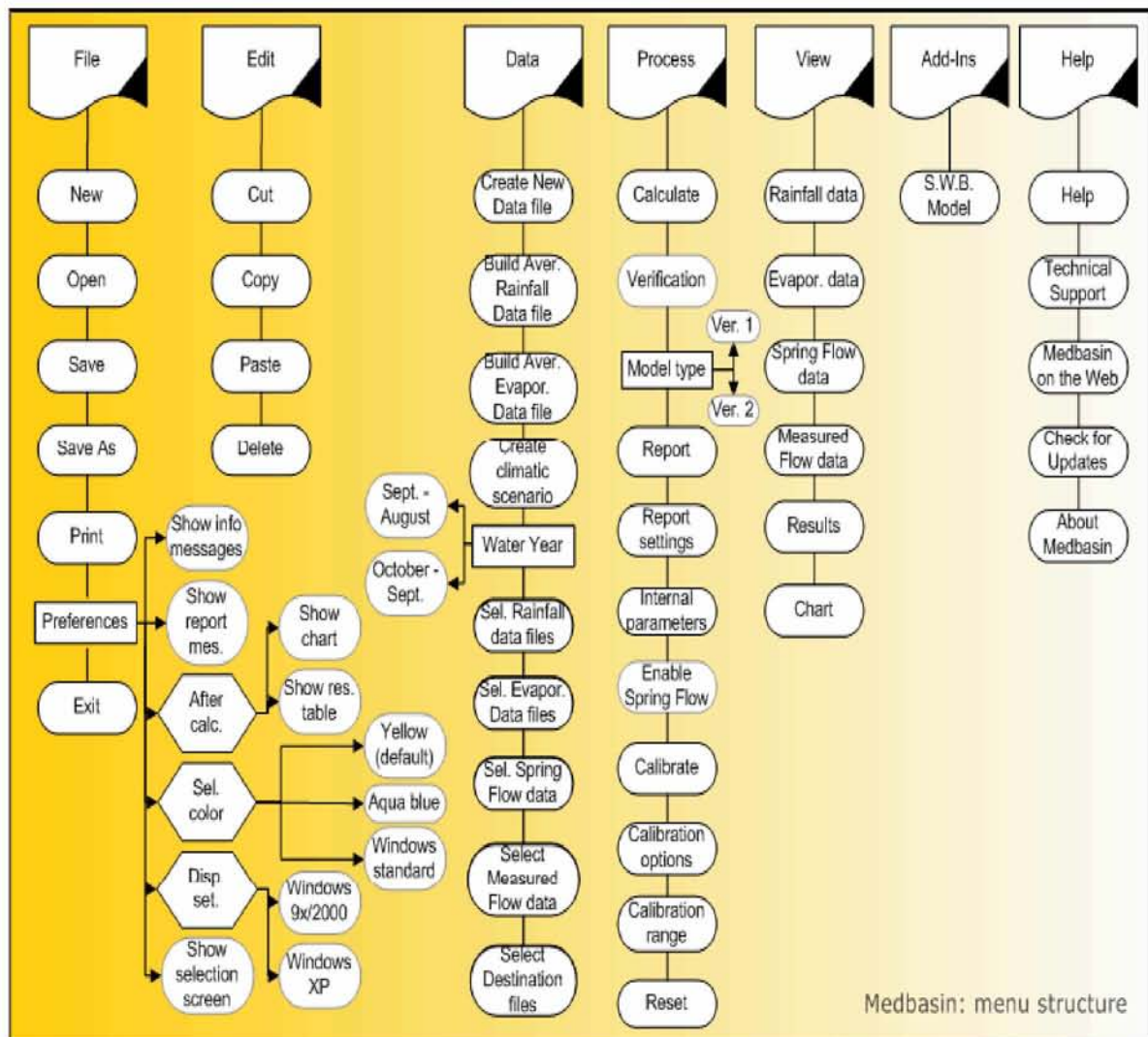
- Ανοίξτε μια υπάρχουσα εργασία (Open an existing project) – Μπορούμε να ανοίξουμε κάποια δεδομένα, παραμέτρους που έχουμε ήδη αποθηκεύσει από μια προηγούμενη εκτέλεση του προγράμματος.
- Δημιουργήστε μια νέα εργασία με τα υπάρχοντα αρχεία στοιχείων (Create a new project using existing data files) – Χρησιμοποιούμε αυτή την επιλογή εφόσον έχουμε τα αρχεία με τα στοιχεία που πρόκειται να «φορτώσουμε» στο πρόγραμμα.
- Δημιουργήστε νέα αρχεία στοιχείων (Create new data files) – Μπορούμε σε αυτή την επιλογή να εισαγάγουμε χειροκίνητα τα στοιχεία που πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε και να σώσουμε τα αρχεία αυτά προκειμένου να τα χρησιμοποιήσουμε αργότερα.

Στο κύριο παράθυρο του προγράμματος (Εικ. 2.5) υπάρχουν παράμετροι του προτύπου, το οποίο μπορεί να τροποποιηθεί με τη δακτυλογράφηση των τιμών τους στα παράθυρα κειμένου ή με τη φόρτωση τους από ένα αρχείο. Υπάρχει επίσης η επιλογή να σωθεί το επιλεγμένο σύνολο παραμέτρων. Οι παράμετροι μπορούν να οριστούν χρησιμοποιώντας την ημιαυτόματη διαδικασία βαθμονόμησης ή με το χέρι ακολουθώντας μια διαδικασία δοκιμής-διόρθωσης.

Όλες οι βασικές εντολές του προγράμματος μπορούν να προσεγγιστούν και να εκτελεστούν άμεσα από τις λίστες επιλογών. Η δομή των επιλογών φαίνεται καλύτερα στην Εικόνα 2.6.



Εικόνα 2.5 Κεντρικό παράθυρο επιλογών του Medbasin



Εικόνα 2.6 Δομή επιλογών του Medbasin

Αρχείο (File): Από αυτόν τον κατάλογο επιλογών τα αρχεία προγράμματος μπορούν να ανοίξουν και να σωθούν καθώς και να οριστούν διάφορες επιλογές π.χ. να δημιουργήσουμε μια νέα εργασία, να ανοίξουμε μια ήδη υπάρχουσα εργασία, να αποθηκεύσουμε σχετικές με την εργασία πληροφορίες, να παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα και τους πίνακες μετά την επεξεργασία των δεδομένων.

Δεδομένα (Data): Σε αυτό το σύνολο επιλογών τα αρχεία των δεδομένων μπορούν να διαχειριστούν. Τα εργαλεία για να δημιουργηθούν ή να τροποποιηθούν τα σύνολα των δεδομένων παρέχονται επίσης εδώ (Δημιουργία νέων αρχείων για να

χρησιμοποιηθούν για τα κλιματολογικά σενάρια ή να εφαρμοστούν τα σενάρια στην περιοχή χωρίς δημιουργία των νέων αρχείων, άνοιγμα του επιτραπέζιου πλέγματος δεδομένων, δημιουργία ενός δέκα ημερών μέσου αρχείου εξάτμισης χρησιμοποιώντας τη σειρά συνόλων δεδομένων εξάτμισης, επιλογή της περιόδου έτους νερού ανάλογα με τα υπάρχοντα δεδομένα, δημιουργία ενός νέο μέσου αρχείου βροχοπτώσεων χρησιμοποιώντας τα σταθμισμένα στοιχεία).

Διαδικασία (Process): Οι εντολές για όλες τις βασικές διαδικασίες μπορούν να προσεγγιστούν από αυτόν τον κατάλογο επιλογών. Μπορούμε δηλαδή να επιλέξουμε τις παρακάτω επιλογές:

- υπολογισμοί έναρξης για την εκτίμηση απορροών,
- επισκόπηση των αποτελεσμάτων μετά τους υπολογισμούς,
- επισκόπηση των τιμών των εσωτερικών παραμέτρων του μοντέλου μετά τους υπολογισμούς,
- έναρξη διαδικασίας βαθμονόμησης,
- έναρξη διαδικασίας επαλήθευσης,
- καθορισμός σειράς παραμέτρων κατά την διαδικασία βαθμονόμησης.

Επισκόπηση (View): Αυτός ο κατάλογος παρέχει την πρόσβαση σε πίνακες στοιχείων και διαγράμματα όπως πίνακες δεδομένων βροχόπτωσης, εξάτμισης και απορροής καθώς και σε πίνακες αποτελεσμάτων.

Βοήθεια: Τα αρχεία βοήθειας, οι πληροφορίες τεχνικής υποστήριξης και οι συνδέσεις Ιστού (διαδίκτυο) μπορούν να προσεγγιστούν από αυτόν τον κατάλογο.

Όσον αφορά την εισαγωγή δεδομένων τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα είναι σε ημερήσια βάση. Οι μέσες βροχοπτώσεις και η πιθανή εξατμισοδιαπνοής της λεκάνης απορροής απαιτούνται. Αν υπάρχει πηγή ή μια άλλη ροή εισαγωγής που συμβάλλουν στην απορροή ποταμών και η παροχή νερού της

βρίσκεται έξω από τη λεκάνη, το μέσο μηνιαίο στοιχείο ροής της πηγής μετριέται ως εισαγωγή στο πρότυπο. Η μετρημένη ροή ποταμών απαιτείται επίσης για τη διαδικασία βαθμονόμησης.

Τα αρχεία των δεδομένων (στοιχείων) είναι φύλλα εργασίας του Excel. Τα δεδομένα πρέπει να τοποθετηθούν ή να εισαχθούν στο πρώτο ενεργό φύλλο εργασίας (ένα αρχείο ανά υδρολογικό έτος). Ένα σημαντικό σημείο είναι το όνομα των μηνών, στο οποίο το πρώτο τους γράμμα πρέπει να είναι ελληνικό ή αγγλικό και πρέπει να τοποθετείται μέσα στις πρώτες 20 γραμμές του φύλλου εργασίας, επάνω από τις τιμές των δεδομένων, για να είναι σε θέση το πρόγραμμα να αναγνωρίσει τη θέση των δεδομένων και να τα χρησιμοποιήσει κατάλληλα. Οι προηγούμενες γραμμές στο φύλλο (που μπορεί να περιέχει τις πρόσθετες πληροφορίες για το σύνολο των δεδομένων) θα αγνοηθούν. Ένα παράδειγμα του σχήματος του φύλλου εργασίας εμφανίζεται στην Εικόνα 2.7.

Microsoft Excel Koutsoulidis Flow 99 00

Αρχείο Επεξεργασία Προβολή Εισαγωγή Μορφή Εργαλεία Δεδομένα Παράθυρο Βοήθεια Adobe PDF

Πληκτρολογήστε ερώτηση

S48

1	Hellenic Republic										Stator ID: 1287		
2	Region of Crete										Number on map: 32		
3											35o 14'		
4	Gauging station: Faneromeni										Coordinates:		
5	River Basin: Koutsoulidis										25o 26'		
6	Operating since: 1979										Altitude: 430m		
7													
8	Average Daily River Flow (mm) - Water year: 1999 - 2000												
9													
10	Day	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.
11	1	0,018	0,096	0,138	0,168	0,512	2,566	1,540	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
12	2	0,018	0,096	0,138	0,168	0,455	2,294	1,316	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
13	3	0,018	0,096	0,138	0,168	0,426	2,096	1,172	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
14	4	0,018	0,096	0,138	0,152	0,436	2,371	1,124	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
15	5	0,018	0,096	0,138	1,389	1,712	2,582	1,124	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
16	6	0,018	0,096	0,138	0,413	2,767	3,535	1,124	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
17	7	0,018	0,096	0,138	0,248	4,798	3,188	1,076	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
18	8	0,018	0,096	0,138	0,184	13,273	4,356	0,920	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
19	9	0,018	0,096	0,138	0,242	13,245	2,902	0,836	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
20	10	0,018	0,096	0,138	0,554	5,143	2,492	0,836	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
21	11	0,018	0,096	0,138	0,427	3,053	2,344	0,836	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
22	12	0,018	0,096	0,138	0,284	2,269	2,195	0,836	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
23	13	0,018	0,096	0,138	0,248	1,964	1,997	0,788	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
24	14	0,018	0,096	0,138	0,248	1,780	1,848	0,788	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
25	15	0,018	0,096	0,138	0,219	2,080	1,925	0,764	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
26	16	0,018	0,096	0,138	0,184	13,935	1,750	0,710	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
27	17	0,018	0,096	0,138	0,168	6,772	1,570	0,683	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
28	18	0,018	0,096	0,138	0,152	3,537	3,359	0,664	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
29	19	0,018	0,096	0,138	0,884	4,516	2,296	0,772	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
30	20	0,018	0,096	0,138	2,004	3,268	1,912	0,740	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
31	21	0,018	0,096	0,138	5,091	16,513	1,750	0,712	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
32	22	0,018	0,096	0,138	1,661	13,337	1,804	0,626	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
33	23	0,018	0,096	0,138	2,214	8,751	1,793	0,626	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
34	24	0,018	0,096	0,138	2,450	6,340	2,018	0,626	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
35	25	0,018	0,096	0,138	1,599	6,055	1,592	0,626	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
36	26	0,018	0,096	0,138	1,145	4,747	1,456	0,569	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
37	27	0,018	0,096	0,138	0,986	3,625	2,246	0,540	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
38	28	0,018	0,096	0,130	0,797	2,992	1,709	0,512	0,407	0,300	0,163	0,161	0,110
39	29	0,018	0,096	0,138	0,623	2,591		0,512	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
40	30	0,018	0,096	0,138	0,547	3,690		0,512	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
41	31		0,096		0,521	3,994		0,512		0,300		0,161	0,118
42	Monthly	0,018	0,096	0,138	0,843	5,115	2,280	0,807	0,487	0,300	0,163	0,161	0,118
43	Monthly vol. in mil. m ³												
44	Peak m ³ /sec												
45													

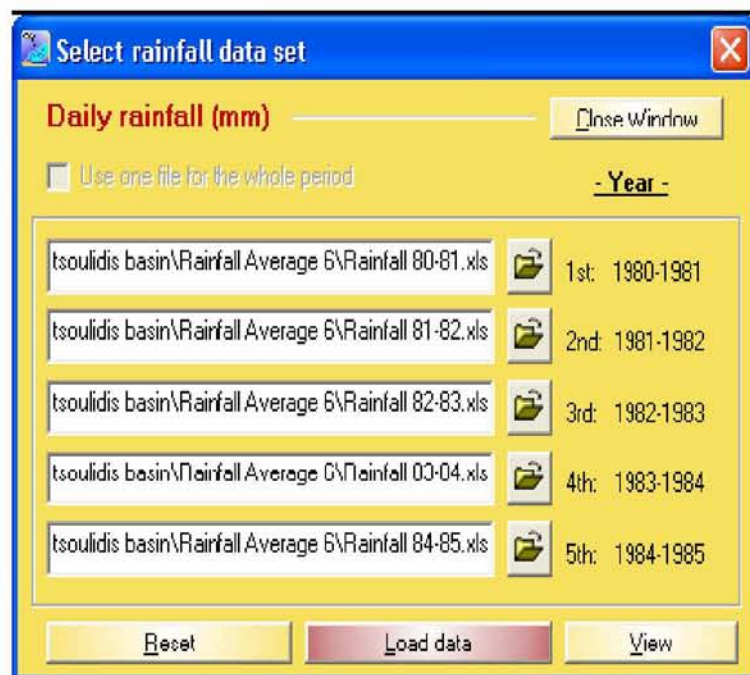
River flow/

Ετοιμο

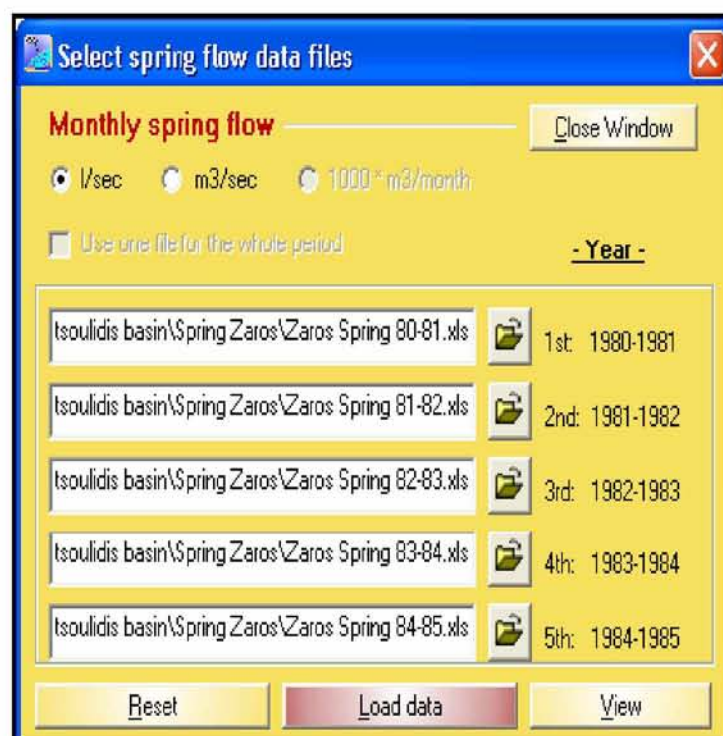
Εικόνα 2.7 Δεδομένα σε φύλλο εργασίας Excel

Η επιλογή αρχείων δεδομένων μπορεί να γίνει μέσω τεσσάρων παραθύρων επιλογών ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων (Εικ. 2.8, 2.9, 2.10 και 2.11). Αυτά τα παράθυρα επιλογών μπορούν να ανοίξουν χρησιμοποιώντας τα κουμπιά εντολής στο

πλαίσιο των αρχείων δεδομένων του κύριου παραθύρου, ή από τις επιλογές Data (Δεδομένα).

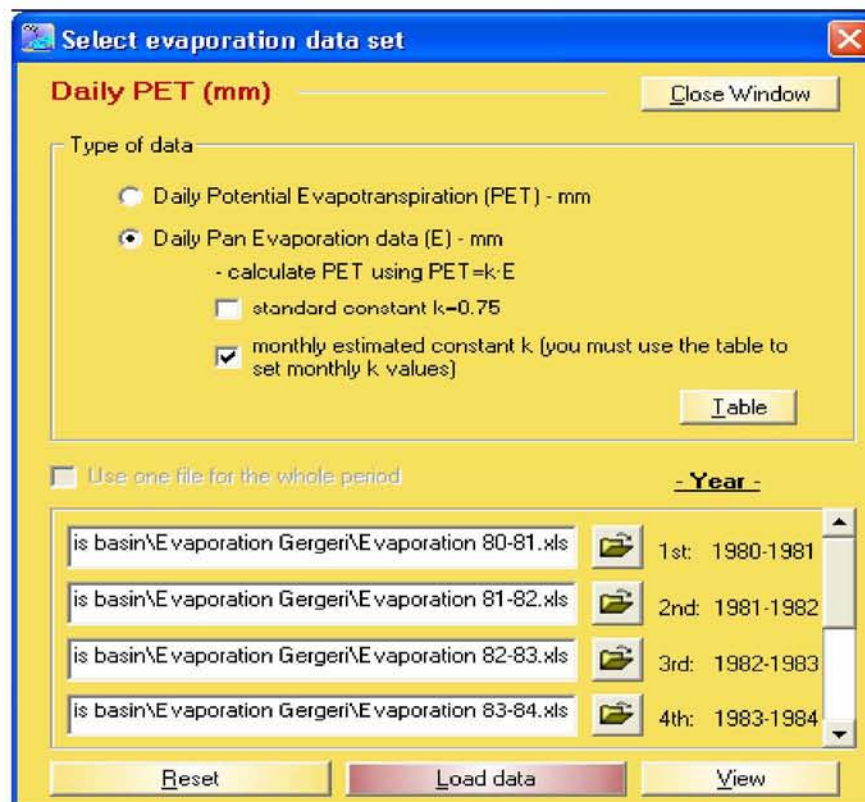


Εικόνα 2.8 Επιλογή δεδομένων βροχόπτωσης

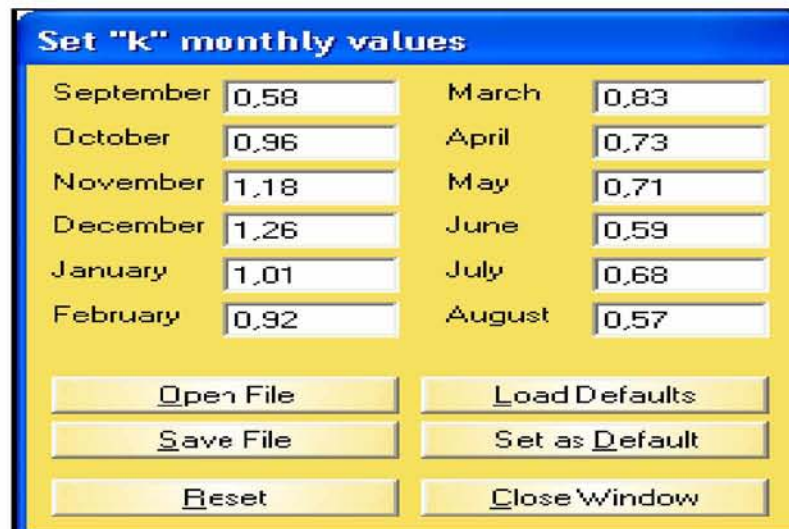


Εικόνα 2.9 Επιλογή μονάδων μέτρησης μηνιαίας απορροής

Μετά την επιλογή όλων των αρχείων (ίσο με τον αριθμό των ετών νερού που είχαμε καθορίσει στο κύριο παράθυρο επιλογών) ενεργοποιείται η επιλογή «φόρτωση δεδομένων» και έτσι τα δεδομένα εισάγονται στο πρόγραμμα. Ειδικά για τα στοιχεία εξάτμισης, υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν οι άμεσα πιθανές τιμές εξατμισοδιαπνοής (PET) και να υπολογιστεί έτσι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή με τον πολλαπλασιασμό είτε με μια τυποποιημένη ετήσιας σταθεράς (0.75), είτε ή με τις μηνιαίες σταθερές (εάν ο συσχετισμός μεταξύ εξάτμισης και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής είναι γνωστός για τη συγκεκριμένη περιοχή). Αυτές οι μηνιαίες σταθερές καθορίζονται σε ένα χωριστό παράθυρο (όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα). Οι τιμές μπορούν να ρυθμιστούν με το χέρι στα παράθυρα κειμένου για κάθε μήνα. Μπορούν επίσης να εισαχθούν από ένα αρχείο ή να σωθούν σε ένα αρχείο (Εικ. 2.10, 2.11, 2.12).



Εικόνα 2.10 Επιλογή δεδομένων εξάτμισης – δυνητικής εξατμισοδιαπνοής



Εικόνα 2.11 Επιλογή μηνιαίων σταθερών k

Create Data Set

	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug
1	0,0	0,0	0,0	2,8	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	18,4	0,0	16,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	45,2	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	9,4	4,7	8,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	3,4	21,0	18,5	3,2	0,2	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	15,6	12,1	3,0	8,2	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	22,1	14,7	18,4	7,1	34,4	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,0	5,6	35,0	6,4	24,6	8,8	19,8	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	6,6	35,5	24,0	0,0	23,9	14,6	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,0	14,8	26,2	0,2	0,0	12,8	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	3,2	6,1	10,9	10,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,0	0,0	3,6	12,4	10,2	3,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,6	5,9	4,1	0,0	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	21,0	0,0	4,5	0,0	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,7	2,9	0,0	4,3	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	26,7	0,0	0,0	11,0	0,0	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,2	0,0	0,0	9,5	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,1	0,0	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	1,3	0,0	5,6	5,8	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	4,5	17,7	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	0,0	17,8	22,4	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	3,5	6,1	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
27	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0
28	0,0	0,0	9,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	0,0	0,9	21,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	0,0
30	0,0	0,0	32,3	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	0,0
31		0,0		8,3	0,0		0,0		0,0		0,0	0,0
Monthly Total:	1,6	25,8	184,8	274,6	152,5	162,8	54,8	125,2	0,1	0,0	9,4	0,0

Εικόνα 2.12 Δημιουργία αρχείου δεδομένων

Δημιουργία συνόλου δεδομένων (βάσεις δεδομένων): Τα αρχεία δεδομένων μπορούν να δημιουργηθούν ή να τροποποιηθούν μέσα σε μια μορφή βασισμένη σε πλέγμα, είτε με τη δακτυλογράφηση των τιμών του συνόλου δεδομένων είτε με τη χρησιμοποίηση άλλων συνόλων δεδομένων για να παραγάγουν τις μέσες βροχοπτώσεις λεκανών είτε τη μέση εξάτμιση των δέκα ημερών. Αυτή η μορφή μπορεί να προσεγγιστεί από το παράθυρο Selection-Επιλογή (με το τσεκάρισμα της τρίτης επιλογής) ή από τις επιλογές προγράμματος Data-Δεδομένα (Δημιουργήστε το νέο αρχείο δεδομένων).

File Path	Station	Weight
Koutsoulidis basin\Rainfall Zaros\Rainfall 83-84.xls	Station 1	0,55
Koutsoulidis basin\Rainfall Borizia\Rainfall 83-84.xls	Station 2	0,35
outsoulidis basin\Rainfall Gergeri\Rainfall 83-84.xls	Station 3	0,10
Select data file...	Station 4	0
Select data file...	Station 5	0
Select data file...	Station 6	0

Εικόνα 2.13 Δημιουργία αρχείου βροχοπτώσεων

Για να δημιουργήσουμε το αρχείο των μέσων βροχοπτώσεων (Εικ. 2.13), μπορούμε να επιλέξουμε από την επιλογή

Build average data files

Rainfall files

δηλαδή να δημιουργήσουμε ένα μέσο σύνολο στοιχείων βροχοπτώσεων. Έτσι εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο, όπου δύο έως έξι σταθμοί βροχοπτώσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παραγάγουν τις μέσες βροχοπτώσεις. Κάθε μέτρηση μπορεί να είναι από 0,01 έως 1,00 και το άθροισμα των μετρήσεων πρέπει να είναι ίσο με 1,00. Ο καθορισμός του υδρολογικού έτους είναι σημαντικός για να υπολογιστούν σωστά οι ημέρες ανά μήνα.

Δημιουργία ενός μέσου συνόλου εξάτμισης δέκα ημερών: Μια σειρά ετήσιων συνόλων δεδομένων εξάτμισης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να δημιουργήσει ένα μέσο σύνολο δεδομένων για 10 ημέρες, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για στατιστικούς λόγους ή σε περίπτωση που δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία εξάτμισης για μερικά έτη. Αρχικά τα αρχεία εξάτμισης πρέπει να επιλεγούν στο παράθυρο των επίλεκτων αρχείων εξάτμισης, από τις επιλογές

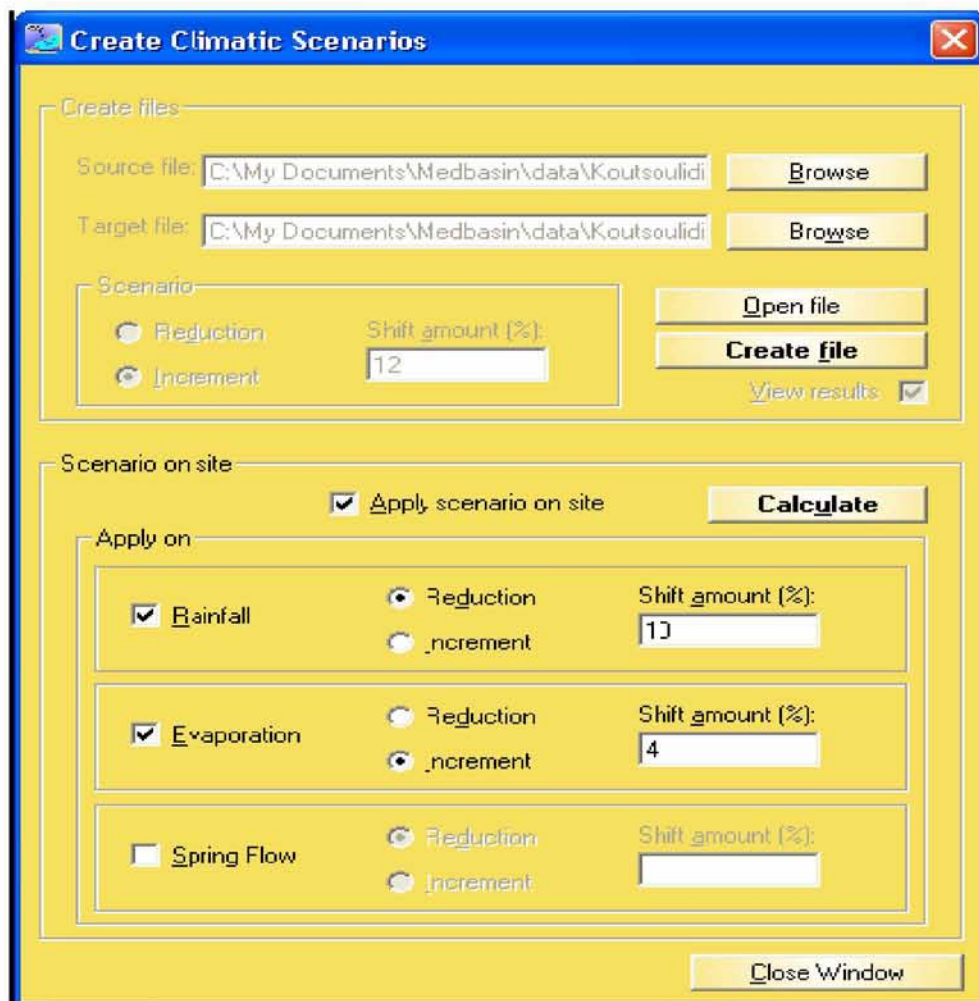
Data

Build Average Evaporation data set (δημιουργία μέσου συνόλου δεδομένων εξάτμισης) το νέο σύνολο δεδομένων θα δημιουργηθεί.

Τα αποτελέσματα και των δύο προηγούμενων διαδικασιών θα επιδειχθούν σε ένα παράθυρο πλέγματος δεδομένων και μπορούν να σωθούν ως φύλλο εργασίας Excel.

Δημιουργία κλιματολογικών σεναρίων: Υπάρχει η επιλογή να δημιουργηθούν τα νέα αρχεία δεδομένων, που παράγονται από τα αρχικά σύνολα δεδομένων με την προσθήκη ή την αφαίρεση ενός ποσοστού των αρχικών τιμών (Εικ. 2.14). Αυτά τα

αρχεία μπορούν να φορτωθούν στο πρόγραμμα και να χρησιμοποιηθούν για να εφαρμόσουν τα σενάρια αλλαγής κλίματος. Εντούτοις, τα σενάρια μπορούν επίσης να εφαρμοστούν στην περιοχή, χρησιμοποιώντας τα υπάρχοντα στοιχεία, χωρίς δημιουργία των νέων αρχείων. Για να χρησιμοποιήσει αυτή τη λειτουργία το πρόγραμμα πρέπει να θέσει κάποιες συγκεκριμένες προϋποθέσεις ως προς τους τύπους συνόλων των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν.



Εικόνα 2.14 Δημιουργία κλιματικών σεναρίων

Πίνακες δεδομένων: Τα υπάρχοντα αρχεία δεδομένων παρουσιάζονται στους πίνακες που μπορούν να προσεγγιστούν μέσω των επιλογών View στο κύριο παράθυρο επιλογών του προγράμματος. Οι καθημερινές τιμές των πινάκων μπορούν

να τροποποιηθούν εάν είναι απαραίτητο, τα μηνιαία και ετήσια σύνολα υπολογίζονται αυτόματα (δεδομένα βροχόπτωσης και εξάτμισης μετριοούνται σε mm, ενώ δεδομένα ροής σε m³). Για τη διαδικασία υπολογισμού κανένα κενό κελί στα σύνολα δεδομένων δεν επιτρέπεται (ειδώλλως ένα μήνυμα λάθους θα επιδειχθεί). Εάν υπάρχουν κενά κελιά που αφήνονται κατά τη διάρκεια της τροποποίησης του συνόλου δεδομένων, πάλι ένα μήνυμα προειδοποίησης θα εμφανιστεί.

Διαδικασία βαθμονόμησης: Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης που χρησιμοποιείται στη διαδικασία βαθμονόμησης είναι βασισμένος σε μια επαναληπτική ρουτίνα. Αρχικά, τα όρια κάθε παραμέτρου καθώς επίσης και της επιλογής των καθορισμένων αρχικών τιμών βημάτων επανάληψης (Set initial values) εφαρμόζουν τις επιλεγμένες παραμέτρους συγκεκριμένης περιόδου από το κύριο παράθυρο καθώς οι αρχικές τιμές της βαθμονόμησης κυμαίνονται σε ένα συγκεκριμένο εύρος. Η κράτηση μιας σταθερής τιμής για μερικές από τις παραμέτρους, με τον έλεγχο του κιβωτίου επιλογής, θα επιταχύνει αρκετά τη διαδικασία. Η επιλογή των ορίων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης. Η διαδικασία βελτιστοποίησης σκοπεύει να καθορίσει την ρύθμιση των παραμέτρων η οποία θα ελαχιστοποιήσει την επιλεγμένη αντικειμενική λειτουργία. Η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί αρκετές φορές αλλάζοντας το εύρος και την σταθερή τιμή των παραμέτρων, μέχρι να επιτευχθεί μια ικανοποιητική τιμή αντικειμενικής λειτουργίας. Μετά από το τέλος της διαδικασίας βαθμονόμησης, οι βέλτιστες (επιλεγμένες) τιμές μπορούν να εφαρμοστούν στο πρόγραμμα είτε αυτόματα (με τον έλεγχο του παραθύρου επιλογής), είτε με την επιλογή Apply to the project (εφαρμογή στο πρόγραμμα).

Στο παράθυρο των επιλογών βαθμονόμησης είναι δυνατό να αποκλειστούν δεδομένα (ημερήσια ή μηνιαία) από τη διαδικασία βαθμονόμησης. Ο αποκλεισμός

δεδομένων είναι ένας τρόπος να αποφευχθούν τα προβλήματα που προκαλούνται από τα ανακριβή ή ελλιπή στοιχεία. Εντούτοις, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως τεχνική για να στραφεί η βελτιστοποίηση στα συγκεκριμένα μέρη του υδρογραφήματος (π.χ. αιχμές). Οι ρυθμίσεις δεδομένων που έχουν εξαιρεθεί μπορούν να σωθούν ή να φορτωθούν από ένα αρχείο. Στο ίδιο παράθυρο οι διαδικασίες βαθμονόμησης και επαλήθευσης μπορούν να ρυθμιστούν σε καθημερινή ή μηνιαία βάση. Εάν η επιλογή επαλήθευσης επιλεγεί στο μενού επιλογών διαδικασίας, οι τιμές των κριτηρίων επαλήθευσης θα εμφανιστούν στο αντίστοιχο πλαίσιο.

Calibration Range	From	Selected	To	Step	Fixed Value
Umax (maximum value of the interception storage - mm)	10	40	50	5	<input type="checkbox"/>
Lmax (maximum total soil storage capacity - mm)	300	420	500	10	<input type="checkbox"/>
LFC (field capacity - mm)	50	100	110	5	<input type="checkbox"/>
T01 (delay factor for deep spring reservoir - days)	64	64	80	4	<input checked="" type="checkbox"/>
T02 (delay factor for shallow spring reservoir - days)	12	12	30	4	<input checked="" type="checkbox"/>
T03 (delay factor for interflow reservoir - days)	2	4	8	1	<input type="checkbox"/>
T04 (delay factor for storm runoff reservoir - days)	0,5	0,5	1	0,1	<input checked="" type="checkbox"/>
CL2 (factor controlling flow to groundwater reservoirs)	0,1	0,1	0,1	0,999	<input checked="" type="checkbox"/>
A1 (area contributing to deep spring reservoir - km ²)	2	2	10	2	<input checked="" type="checkbox"/>
A2 (area contributing to shallow spring reservoir - km ²)	8	8	16	2	<input checked="" type="checkbox"/>
A3 (area contributing to interflow reservoir - km ²)	20	28	35	2	<input type="checkbox"/>
A4 (area contributing to storm runoff reservoir, total area of the basin - km ²)	39	39	45	7	<input checked="" type="checkbox"/>
CT (storm runoff constant)	0,3	1	1	0,1	<input type="checkbox"/>
Q0 (storm runoff constant - mm)	0	0,2	1	0,1	<input type="checkbox"/>

Automatically apply calibrated parameters

Εικόνα 2.15 Εύρος παραμέτρων βαθμονόμησης

Πριν από την έναρξη της βαθμονόμησης (Εικ. 2.15) ένα μήνυμα ενημερώνει για την αναμενόμενη διάρκεια της διαδικασίας. Είναι δυνατό να διακοπεί η διαδικασία βαθμονόμησης αν πιάσουμε το πλήκτρο Esc.

Διαδικασία προσομοίωσης απορροών: Αφότου έχουν τεθεί οι παράμετροι, η προσομοίωση απορροών μπορεί να αρχίσει με την επιλογή Calculate στο κύριο παράθυρο ή από τις επιλογές:

Process: Υπολογίστε.

Η διαδικασία επαλήθευσης μπορεί επίσης να τρέξει εάν τα μετρημένα στοιχεία ροής έχουν παρασχεθεί και η επιλογή επαλήθευσης ελέγχεται (Εικ. 2.16). Υπάρχουν δύο εκδόσεις του προτύπου που μπορεί να προσεγγιστεί από τις επιλογές:

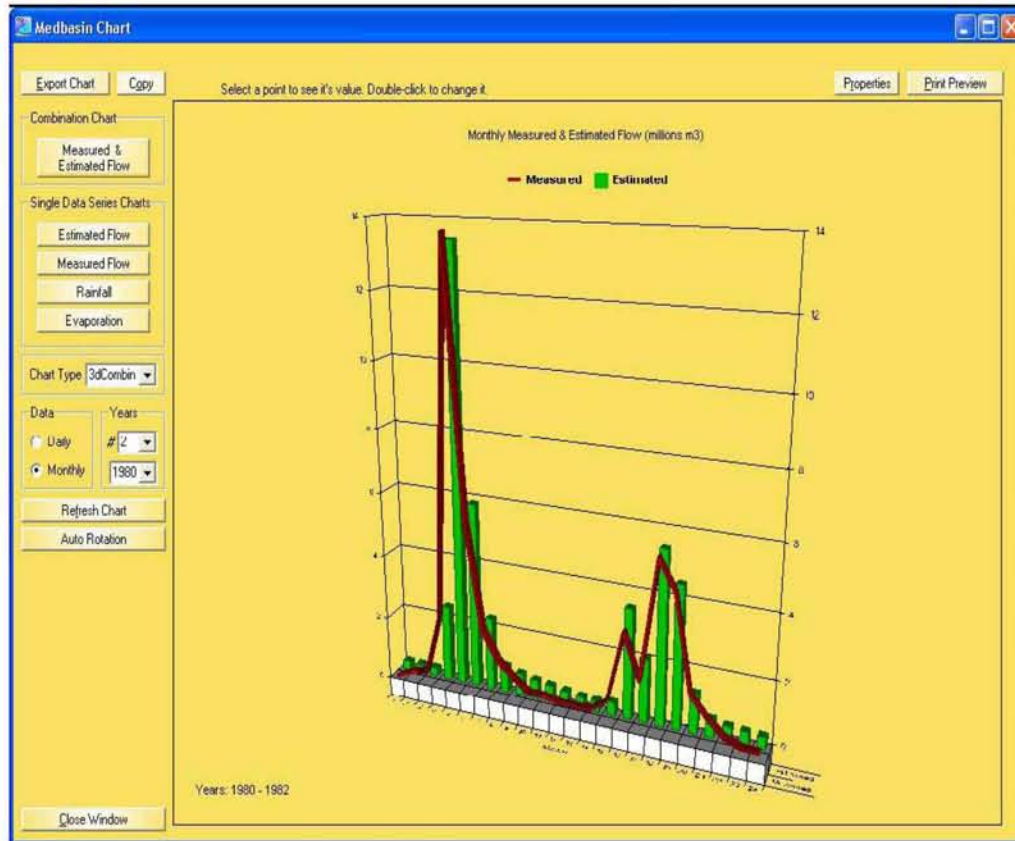
Process: Τύπος προτύπου.

Διαφέρουν με τον τρόπο που υπολογίζουν το ποσό προσθήκης υγρασίας στη δεξαμενή απορροών επιφάνειας. Τα αποτελέσματα μπορούν να σωθούν άμεσα στα επιλεγμένα αρχεία στο παράθυρο των επίλεκτων αρχείων προορισμού (Select destination files) και μπορούν να προβληθούν στο παράθυρο των πινάκων δεδομένων (Data and results tables) ή να προσδιορισθούν γραφικά στο παράθυρο διαγραμμάτων (Chart window).

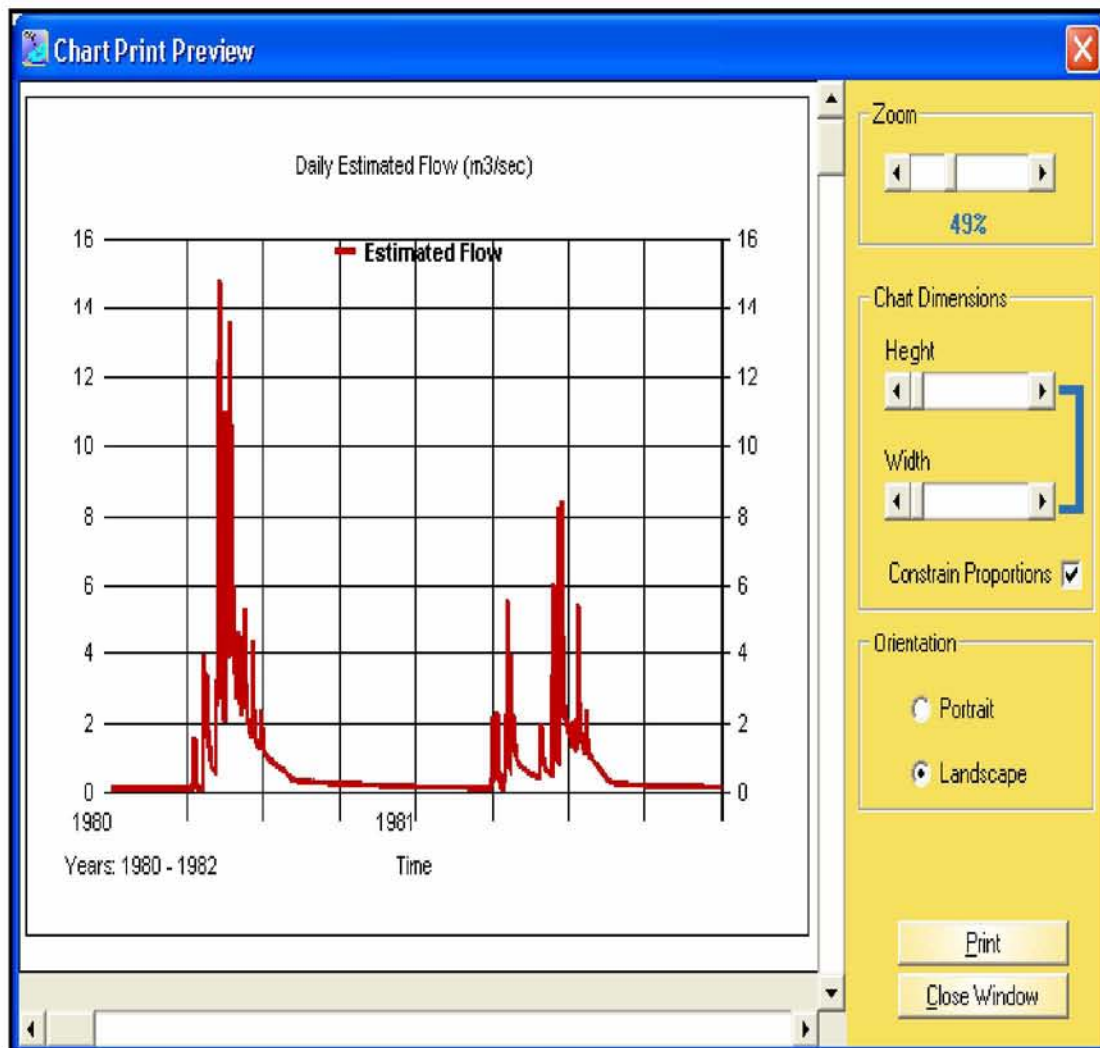
Σε ότι αφορά το παράθυρο διαγραμμάτων, οι σειρές και τα αποτελέσματα των δεδομένων μπορούν να προβληθούν γραφικά. Υπάρχουν τέσσερις ενιαίες επιλογές διαγραμμάτων σειράς (Εικ. 2.16):

α) κατ' εκτίμηση ροή, β) μετρημένη ροή, γ) στοιχεία βροχοπτώσεων και δ) στοιχεία εξάτμισης και διάγραμμα ενός συνδυασμού (που αφορά μετρημένη και κατ' εκτίμηση ροή). Τα διαγράμματα μπορούν να είναι ημερήσιας ή μηνιαίας βάσης και η περίοδος ετών των διαγραμμάτων που απεικονίζονται μπορεί να καθοριστεί.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι δισδιάστατων και τρισδιάστατων διαγραμμάτων που είναι διαθέσιμα από τον κατάλογο επιλογών.

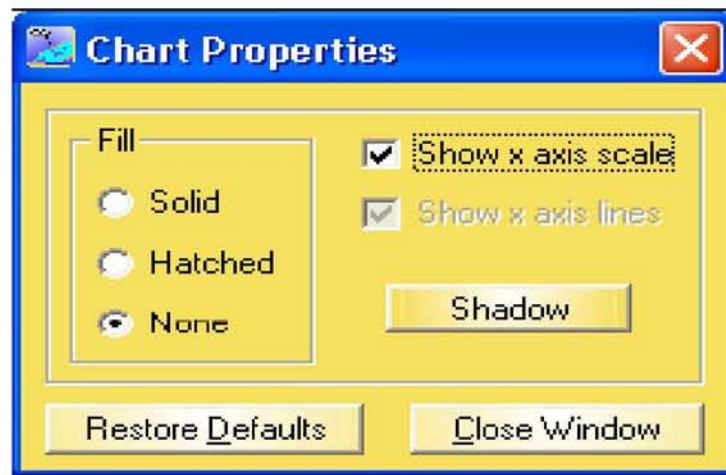


Εικόνα 2.16 Διάγραμμα μετρημένης-εκτιμημένης απορροής



Εικόνα 2.17 Παράθυρο επιλογών προεπισκόπησης εκτύπωσης διαγραμμάτων

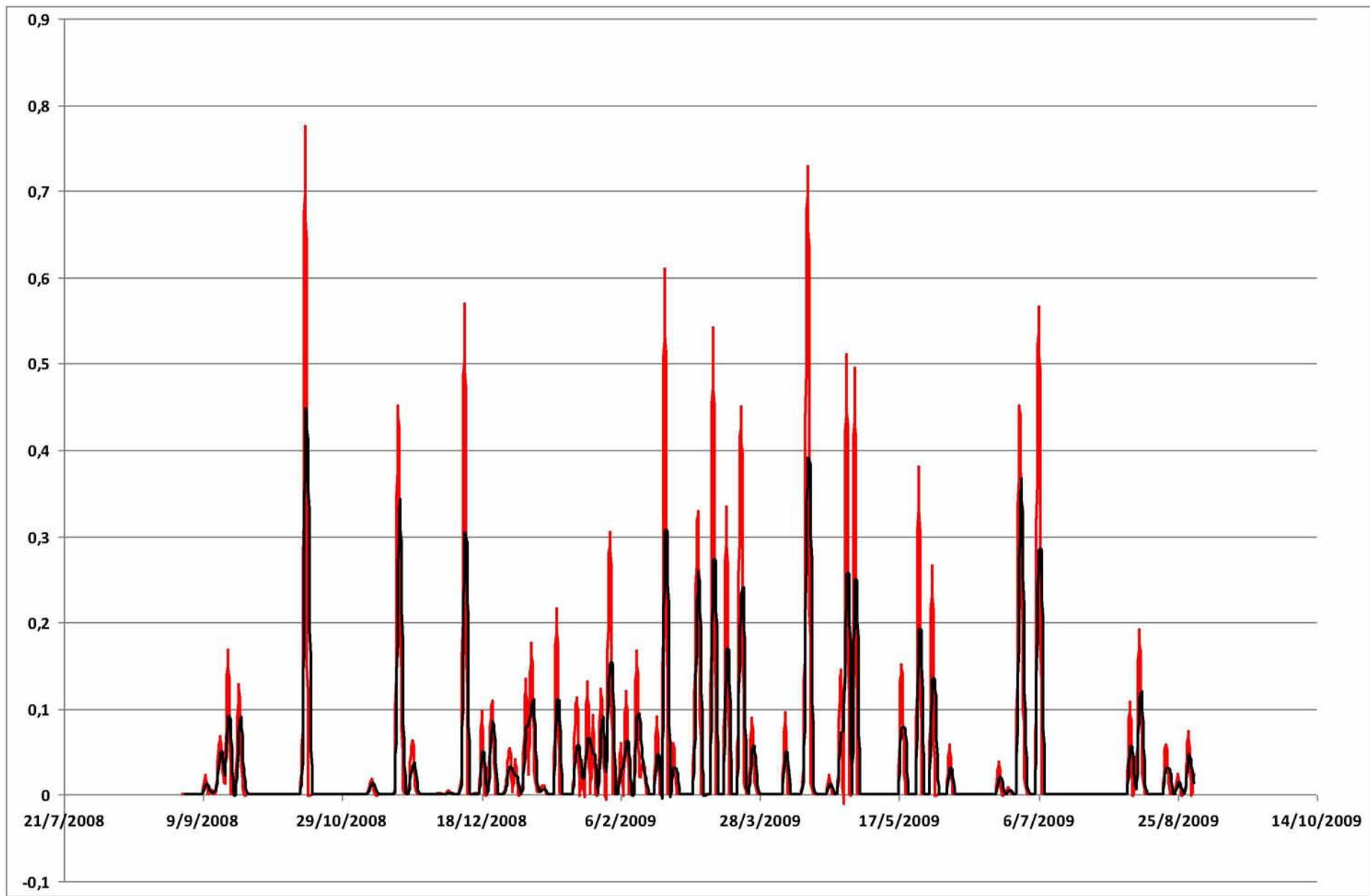
Στο παράθυρο με τις ιδιότητες των διαγραμμάτων η βασική απεικόνιση του διαγράμματος καθώς και τα χαρακτηριστικά του μπορούν να ρυθμιστούν κατάλληλα, ενώ μπορούν να καθοριστούν και οι επιλογές εκτύπωσης του διαγράμματος μέσω επιλογών από το παράθυρο προεπισκόπησης εκτύπωσης διαγραμμάτων (Chart Print Preview), όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.17. Μετά από μια νέα φόρτωση δεδομένων ή από έναν νέο υπολογισμό το διάγραμμα πρέπει να επαναπροσδιορισθεί με την επιλογή ανανέωση διαγράμματος (Refresh chart) για να έχουμε τα νέα αποτελέσματα (Εικ. 2.18).



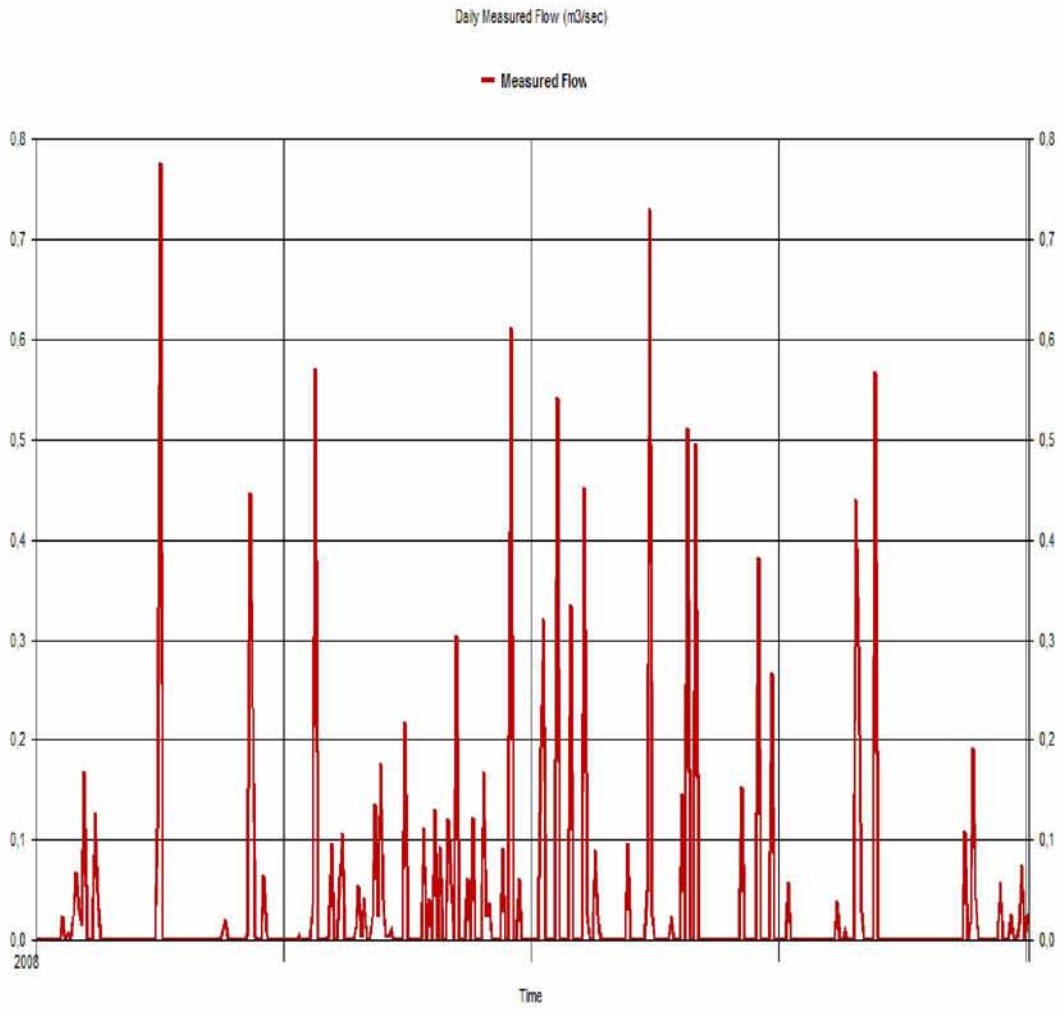
Εικόνα 2.18 Επιλογές ιδιοτήτων διαγράμματος

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η εκτιμημένη απορροή υπολογίστηκε με το υδρολογικό μοντέλο Med Basin εισάγοντας σε αυτό ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης, εξάτμισης και μετρημένης απορροής. Οι χρονοσειρές των δεδομένων αφορούν μια περίοδο ενός υδρολογικού έτους (Σεπτέμβριος 2008 – Αύγουστος 2009). Βάσει αυτών των δεδομένων τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά την επεξεργασία τους από το μοντέλο δίνονται στους παρακάτω πίνακες και διαγράμματα:

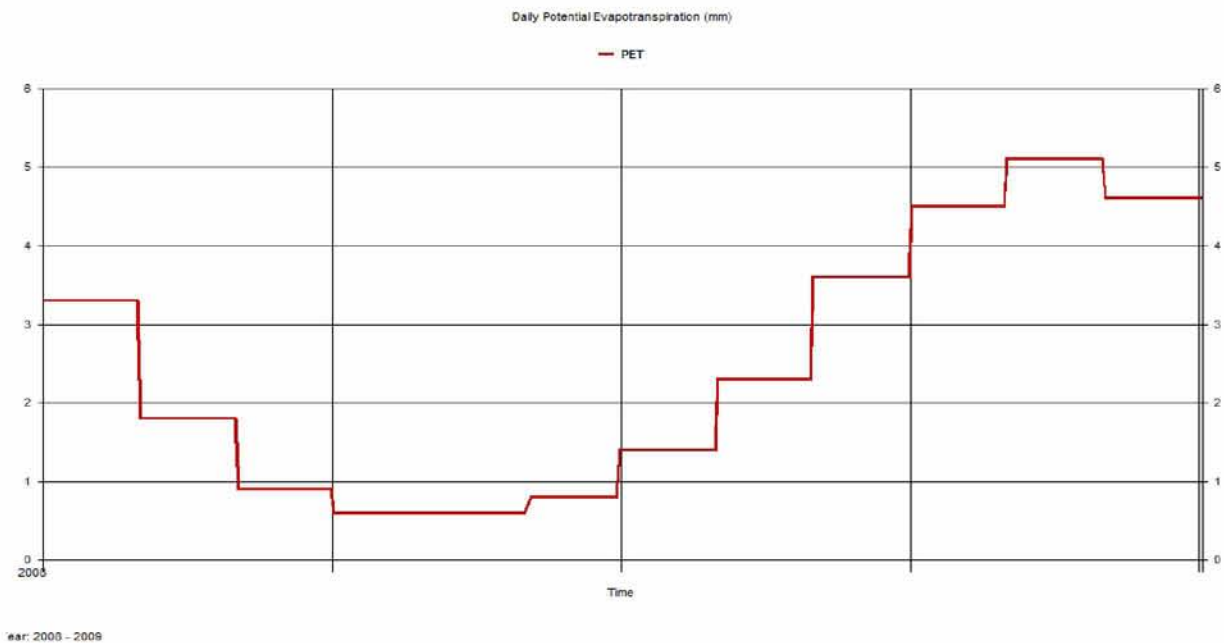


Εικόνα 3.1 Σύγκριση τιμών μετρημένης (κόκκινο) και εκτιμημένης (μαύρο) απορροής από Σεπτέμβριο 2008 έως Αύγουστο 2009 σε μονάδες m^3/s

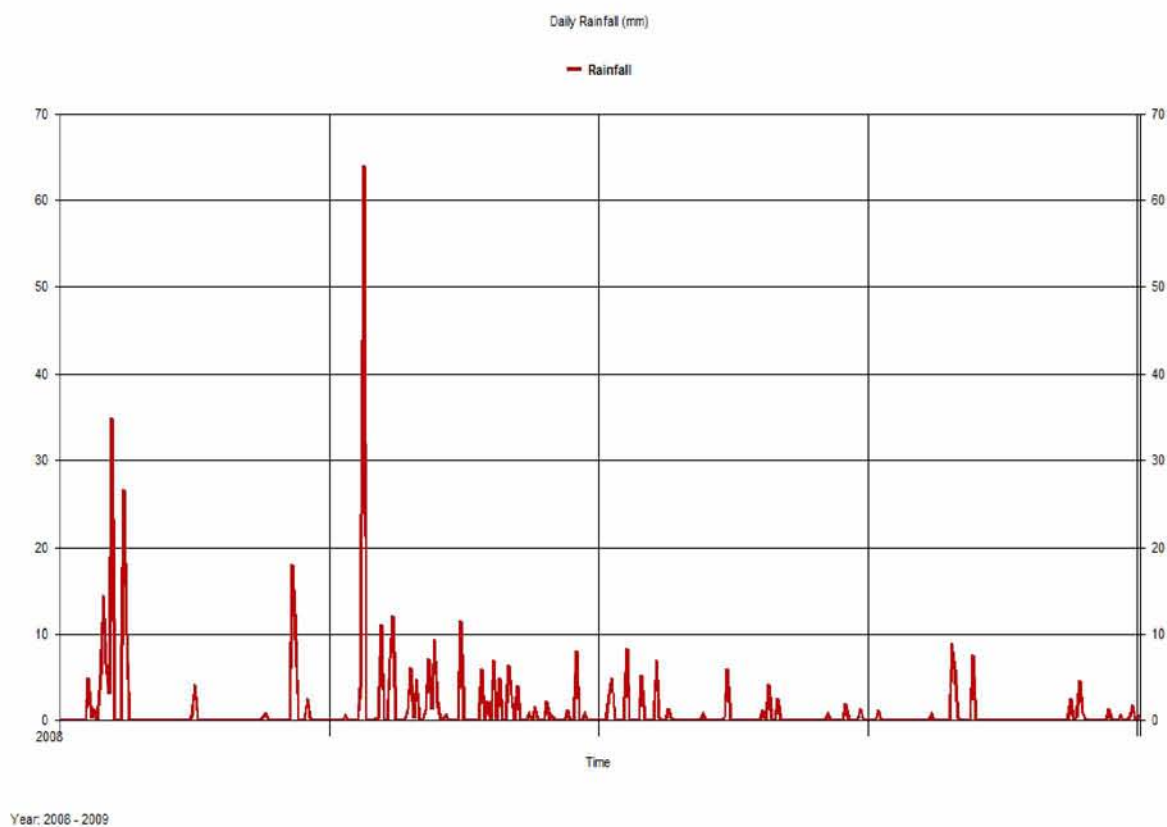


Year: 2008 - 2009

Εικόνα 3.2 Διάγραμμα μετρημένης ροής από Σεπτέμβριο 2008 έως Αύγουστο 2009 σε μονάδες m³/s



Εικόνα 3.3 Διάγραμμα Δυνητικής Εξατμισοδιαπνοής από Σεπτέμβριο 2008 έως Αύγουστο 2009 σε μονάδες mm



Εικόνα 3.4 Διάγραμμα Βροχόπτωσης από Σεπτέμβριο 2008 έως Αύγουστο 2009 σε μονάδες mm

Για τον υπολογισμό της πιθανής εξατμισοδιαπνοής (PET) από το μοντέλο χρησιμοποιήθηκε μια τυποποιημένη μηνιαία σταθερά ($k = 0,75$) διότι δε γνωρίζαμε τον ακριβή συσχετισμό μεταξύ πραγματικής και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικές μηνιαίες σταθερές.

Όπως παρατηρούμε στις εικόνες 3.1 και 3.2, διαπιστώνουμε ότι η μέγιστη ροή εμφανίζεται τον Οκτώβριο του 2008 και είναι ίση με $0,775 \text{ m}^3/\text{sec}$ και η ελάχιστη ροή εμφανίζεται κυρίως τους θερινούς μήνες όπου φτάνει και μηδενικές τιμές. Στους υπόλοιπους μήνες, παρατηρούμε αρκετές αιχμηρές διακυμάνσεις με τιμές που κυμαίνονται ανάμεσα σ' αυτές τις δύο ακραίες διακυμάνσεις.

Στην εικόνα 3.3, παρουσιάζεται το διάγραμμα της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής. Από το διάγραμμα αυτό, διαπιστώνεται ότι η εξάτμιση είναι μεγαλύτερη κατά τους θερινούς μήνες, κάτι το οποίο είναι και αναμενόμενο. Ειδικότερα η μέγιστη μέση τιμή της εξάτμισης εμφανίζεται το μήνα Ιούλιο με $5,05 \text{ mm}/\text{ημέρα}$, ενώ κατά τους μήνες Μάιο, Ιούνιο και Αύγουστο παίρνει τις τιμές $3,59$, $4,53$ και $4,56 \text{ mm}/\text{ημέρα}$, αντίστοιχα. Από το μήνα Σεπτέμβριο, ελαττώνεται σταδιακά έως ότου φθάσει στην ελάχιστη τιμή της $0,56 \text{ mm}/\text{ημέρα}$ το μήνα Ιανουάριο.

Από την εικόνα 3.4, η μέγιστη τιμή της βροχόπτωσης είναι $111,9 \text{ mm}$ το μήνα Δεκέμβριο. Αρκετά υψηλή τιμή παρατηρούμε τον μήνα Σεπτέμβριο με $107,6 \text{ mm}$. Τους υπόλοιπους μήνες η βροχόπτωση είναι πολύ μικρότερη και παίρνει την ελάχιστη τιμή της σε $4,8 \text{ mm}$, τον μήνα Οκτώβριο.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία έχει ως θέμα την διερεύνηση του υδατικού ισοζυγίου λεκανών απορροής με τη χρήση του υδρολογικού μοντέλου MedBasin. Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η μελέτη του υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής του φράγματος Μαυρομάτι στη Μαγνησία.

Χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης του μετεωρολογικού σταθμού της ΕΜΥ στο Βόλο και η εξάτμιση υπολογίστηκε επίσης σε ημερήσια βάση. Οι απορροές, ελήφθησαν από τη μελέτη του φράγματος Μαυρομάτι (Καραβοκυρός και συν., 2003) από σταθμό εγκατεστημένο στην έξοδο του φράγματος.

Το υδρολογικό έτος ορίστηκε από το Σεπτέμβριο του 2008 έως και τον Αύγουστο του 2009, για το οποίο και υπήρχε σχεδόν πληρότητα δεδομένων σε ότι αφορά τις ημερήσιες καταγραφές της βροχόπτωσης.

Στο μοντέλο εισήχθησαν τα δεδομένα βροχόπτωσης και εξάτμισης για να μπορέσει αυτό να προσομοιώσει την μετρημένη απορροή που είχαμε από τα στοιχεία της μελέτης. Από την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, συμπεραίνουμε ότι η εκτιμημένη απορροή που προσομοίωσε το μοντέλο είναι πολύ καλή σε ότι αφορά τόσο τα μέγιστα όσο και τα ελάχιστα των τιμών της μετρημένης απορροής. Αυτό επιτεύχθηκε μετά από κατάλληλες βαθμονομήσεις των παραμέτρων, όπως ακριβώς περιγράφηκε προηγούμενα.

Από τη μελέτη των μετρήσεων της βροχόπτωσης, προκύπτει ότι οι ξηρότεροι μήνες είναι οι θερινοί και οι πλέον υγροί μήνες οι χειμερινοί. Η εικόνα αυτή συνάδει με τη συνήθη κατανομή βροχής-απορροής στον ευρύτερο χώρο. Αξίζει να σημειωθεί ότι ακόμα και κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών παρατηρούνται σημαντικά

επεισόδια βροχόπτωσης και ως εκ τούτου το ύψος βροχής των θερινών μηνών δεν είναι αμελητέο.

Η χρονική περίοδος παρατήρησης χαρακτηρίζεται από έντονες κυμάνσεις του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης και το υδρολογικό έτος 2008 – 2009 παρουσιάζεται ως ιδιαίτερος υγρό (κυρίως το 2009). Το πλεονάζον του μέσου όρου ύψους βροχής, κατά το έτος 2009, σημειώνεται σε γενικές γραμμές με τη μορφή υψηλότερης βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια των τυπικών υγρών μηνών. Έτσι, οι τυπικά ξηροί μήνες εμφανίζουν σε γενικές γραμμές τα συνήθη ύψη βροχής. Επομένως η κατανομή της πλεονάζουσας βροχόπτωσης γίνεται σε επιλεκτικές χρονικές περιόδους του έτους. Το γεγονός των μειωμένων βροχοπτώσεων, κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών, επηρεάζει σημαντικά τη λειτουργία του φράγματος και τον όγκο νερού που αποθηκεύεται σε αυτήν, όπως επίσης και τους μηχανισμούς που ελέγχουν τις βιοτικές παραμέτρους της λίμνης (χλωρίδα-πανίδα).

Το μοντέλο προσομοιώνει ικανοποιητικά το υδατικό ισοζύγιο της λεκάνης απορροής του φράγματος Μαυρομάτι. Θα ήταν χρήσιμο να γίνει περαιτέρω μελέτη και ίσως και η εφαρμογή και άλλων μοντέλων ή άλλων μεθόδων για να έχουμε πιο ακριβή αποτελέσματα.

Η συνολική εικόνα των υδατικών πόρων του φράγματος, όπως αυτή μελετήθηκε με βάση τα δεδομένα, δείχνει ένα σύστημα η διαχείριση του οποίου είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, κυρίως κατά τη θερινή περίοδο, που είναι προφανής η έλλειψη νερού για τη διατήρηση συνθηκών κύμανσης της στάθμης σε ελεγχόμενο περιορισμένο επίπεδο.

Η βιωσιμότητα του όχι μόνο ως έργο ταμίευσης νερού αλλά και ως υδροτόπου, εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τις διαχειριστικές ενέργειες που αφορούν στους υδατικούς του πόρους, οι οποίοι σε μεγάλο ποσοστό ανανεώνονται

ημερησίως. Ο υγροβιότοπος του φράγματος, αποτελεί ένα ιδιαίτερα ευαίσθητο οικοσύστημα, η αειφορία και προστασία του οποίους απαιτεί συντονισμένη δράση και υλοποίηση προσεκτικά σχεδιασμένων δράσεων κα μέτρων.

Εκτιμάται τελείως απαραίτητη η εγκατάσταση και διαχρονική λειτουργία αυτογραφικού δικτύου παρακολούθησης βασικών ποιοτικών παραμέτρων των υδατικών πόρων του συστήματος. Το δίκτυο αυτό θα πρέπει να συμπληρωθεί με την εγκατάσταση και λειτουργία πλήρους μετεωρολογικού σταθμού. Με βάση τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού, θα ήταν δυνατός ο ακριβής υπολογισμός της προσφοράς και ζήτησης του νερού άρα και η εκτίμηση των απολήψεων νερού από τη λίμνη. Έτσι, θα καταστεί δυνατή η προσέγγιση ενός ρεαλιστικού υδατικού ισοζυγίου της περιοχής και επίσης θα τεθούν οι βάσεις εξορθολογισμού της διαχείρισης του νερού.

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Abulohom, M.S., (2001).** Development of a Rainfall-Runoff Model, its Calibration and Validation, water resources management. Journal of Hydrology, vol.15.
- **Adams, F.D., (1954).** The birth and development of geological sciences. Dover Publ., New York, 426-460.
- **Alley, W.M., (1984).** On the treatment of evapotranspiration, soil moisture accounting and aquifer recharge in monthly water balance models. Water Resources, 20(8):113-115
- **Alley, W.M. (1985).** Water balance models in one-month-ahead stream flow forecasting, Water Resources Research, 21(4): 597–606.
- **Arnell, N.W. (1992).** Factors controlling the effects of climate change on river flow regimes in a humid temperate environment, Journal of Hydrology, 132:321–342.
- **Blaney, H.F. and Griddle W.D. (1950).** Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigated data. USDA Soil Conservation Service SCS-TP96, 44 pp.
- **Biswas, A.K. (1969).** A short history of hydrology. In: Progress of hydrology, Proc. of the First International Seminar for Hydrology Professors, Univ. of Illinois, Urbana, 111:914-936.

- **Cavadias, G., Morin G.: (1986)**, The combination of simulated discharges of hydrological models. Application to the WMO intercomparison of conceptual models of snowmelt runoff. *Nordic Hydrology*; 17:21-32.
- **Chow, V.T. (1964)**. Hydrology and its development. In: *Handbook of applied hydrology*, McGraw-Hill Book Co., New York, Chapter 1:1-10.
- **Chow, V.T. (1988)**. *Applied hydrology*, McGraw-Hill Book Co., New York, 1:1-49.
- **Creutin, J., Delrieu G., Lebel T. (1988)**. Rain measurement by raingage-combination: A geostatistical approach. *Journal of Atmosp. Ocean Vol. 5*: 102-115.
- **Gabos, A. and Gasparri L., (1983)**. Monthly runoff model for regional planning, *Water International*, **8**, pp. 42–45.
- **Giakoumakis, S., Tsakiris G., and Efremides D. (1991)**. On the Rainfall – Runoff Modeling in a Mediterranean Island Environment, *Advances in Water Resources Technology*, Balkema, Rotterdam.
- **Gan, T. Y., Biftu G. B. (1996)**. Automatic calibration of conceptual rainfall-runoff models: optimization algorithms, catchment conditions, and model structure. *Water Resour. Res.*, 32 (12):3513-3524.
- **Gan, T. Y., Dlamini E. M. Biftu G. F. (1997)**. Effects of model complexity and structure, data quality, and objective function in hydrologic modeling. *J. Hydrol.*, 192, :81-103.
- **Gertsev, V.I. & Gertseva V.V. (2004)**. *Ecological Modelling*, 178, 324 – 344.

- **Gleick, P. (1996).** Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. By S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol.2:817-823.
- **Guo, S., Wang J., Xiong L., Ying A. and Li D. (2002).** A macro-scale and semi-distributed monthly water balance model to predict climate change impacts in China, Journal of Hydrology, 268, :1-15.
- **Gumbel, E.J. (1941).** The return period of flood flows. Ann. Math. Stat., vol.12:163-190.
- **Gupta, V. K., Sorooshian S. (1985).** The automatic calibration of conceptual models using deterministic based optimization algorithms. Water Resour. Res., 21 (4): 473-485.
- **Knight, C.G., Chang R. Staneva P.M. Kostov D. (2001).** An amplified basin model for simulating runoff, The Struma river GIS, Professional Geographer, 53(4):533-545
- **Linsley, R.K., Kohier M.A. Paulhus J.L.H. (1949).** Applied hydrology. McGraw-Hill Book Co., New York, 1-4.
- **Loukas, A. (2002).** Flood frequency estimation by a derived distribution procedure. Journal of Hydrology., vol.225., Issues 1-4.,:69-89.
- **Madsen, H., Wilson G. Ammentorp H. C. (2002).** Comparison of different automated strategies for calibration of rainfall-runoff models. J. Hydrol., 261:48-59.
- **Meinzer, O.E. (1942).** Definition of hydrology, In. Hydrology. Dover Publ. Inc., New York, 1-31.

- **Ndiritu, J. G., Daniel T. M. (1999).** Accessing model calibration adequacy via global optimization. *Water SA*, 25:317-326.
- **Panagoulia, D. and Dimou G. (1997).** Linking space-time scale in hydrological modeling with respect to global climate change: model properties and experimental design, *Journal of Hydrology*, 194:15–37
- **Perrin, C., Michel C. Andreassian, V. (2001).** Does a large number of parameters enhance model performance? Comparative assessment of common catchment model structures on 429 catchments, *Journal of Hydrology*, 242:275-301.
- **Pitman, W.V. (1973).** A mathematical model for generating monthly river flows from meteorological data in South Africa, Report 2-3, Hydrological Research Unit, University of the Witwatersrand, Johannesburg.
- **Psilovikos, A., Vavliakis E. Margoni S. Koutalou V. (2003).** Determination of the runoff coefficient in the hydrological basins of the main torrents in Samos island after the fire of 2000 using orthophotomaps and GIS. International symposium: GIS and Remote Sensing. Environmental Applications, 7-9 November, Volos.
- **SCS (Soil Conservation Service) (1972).** National Engineering Handbook, Section of Hydrology, SCS, Washington D.C., U.S.A.
- **Thornthwaite, C.W. (1948).** An approach toward a radiation classification of climate, *Geographical Reviews*, 38(1), pp. 55-94.
- **Thornthwaite, C.W. and Mather J.R. (1955).** The water balance, Publication in Climatology, Laboratory of Climatology, Drexel Institute of Technology, 8(8):1-104.

- **Tigkas, D.**, (2003). Creation of a rainfall-runoff software model. Application study at Greek Island river basins. MSc Thesis, National Technical University of Athens, Greece.
- **Tigkas, D., Tsakiris G.** (2004). Medbasin : A rainfall – runoff package software for Mediterranean basins. *European Water: 4-5:3-12*.
- **Tsakiris, G., Tigkas D. Pangkalou D.** (2004). On the assesment of climatic and drought scenarios on runoff in Mediterranean islands river basins. In *Proceedings of EWRA International Symposium, Water Resources Management: Risks and Challenges for the 21st century*, Harmancioglu N. et al (ed.), Vol. 2, Izmir, Turkey.
- **Vandewiele, G.L. and Win N.L.** (1998). Monthly water balance for 55 basins in 10 Countries, *Hydrological Sciences Journal*, 43(5):687-699.
- **Xu, C.Y. and Vandewiele G.L.** (1995). Parsimonious monthly rainfall-runoff models for humid basins with different input requirements, *Advances in Water Resources*, 18:39–48.
- **Xiong, L., Guo S.** (1999). A two-parameter monthly water balance model and its application. *Journal of Hydrology.*, vol. 216., Issues 1-2.,:111-123.
- **Yapo, P. O. Gupta H. V. Sorooshian S.** (1998). Multi-objective optimization for hydrological models. *J. Hydrol.*, 204:83-97.
- **Yates, D.N. and Strzepek K.M.** (1998). Modeling the Nile Basin under climatic change, *Journal of Hydrologic Engineering*, 3(2):98-108.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Αβραμάκη Κ.** (2007). Υδρολογική Διερεύνηση της λεκάνης απορροής του φράγματος Νεστορίου Καστοριάς. Πτυχιακή Εργασία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
- **Καραβοκύρης και συν. Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε., Έδαφος Σύμβουλοι Μηχανικοί Ε.Π.Ε., Καλαούζης Γ. & Ροδάκης Γ., (2003).** Μελέτη φράγματος συγκέντρωσης νερού στο Ρέμα Μαυρομάτι του Δήμου Σούρπης: Υδρολογική Μελέτη, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Μαγνησίας, Δεκέμβριος 2003.
- **Κιάος, Α., (2011).** Διερεύνηση υδατικού ισοζυγίου λεκανών απορροής με τη χρήση του μαθηματικού μοντέλου Med Basin. Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
- **Λουκάς, Α., Βασιλειάδης Α. και Μπατρογιάννης Ν. (2003).** Υδρολογική Προσομοίωση Υδατικού Ισοζυγίου Λεκάνης Απορροής Γερμασόγειας Κύπρος, πρακτικά Ημερίδας «Μελέτες και έρευνες Υδατικών Πόρων στον Κυπριακό Χώρο», σελ. 83-114, Λευκωσία, Κύπρος.
- **Παπανίκος, Ν. (2008).** Ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων στην υπό επανασύσταση λίμνη Κάρλα Θεσσαλίας, Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας & Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, σελ. 249.
- **Τσακίρης, Γ. (1995).** Υδατικοί Πόροι Ι: Τεχνική Υδρολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, σελ. 675.

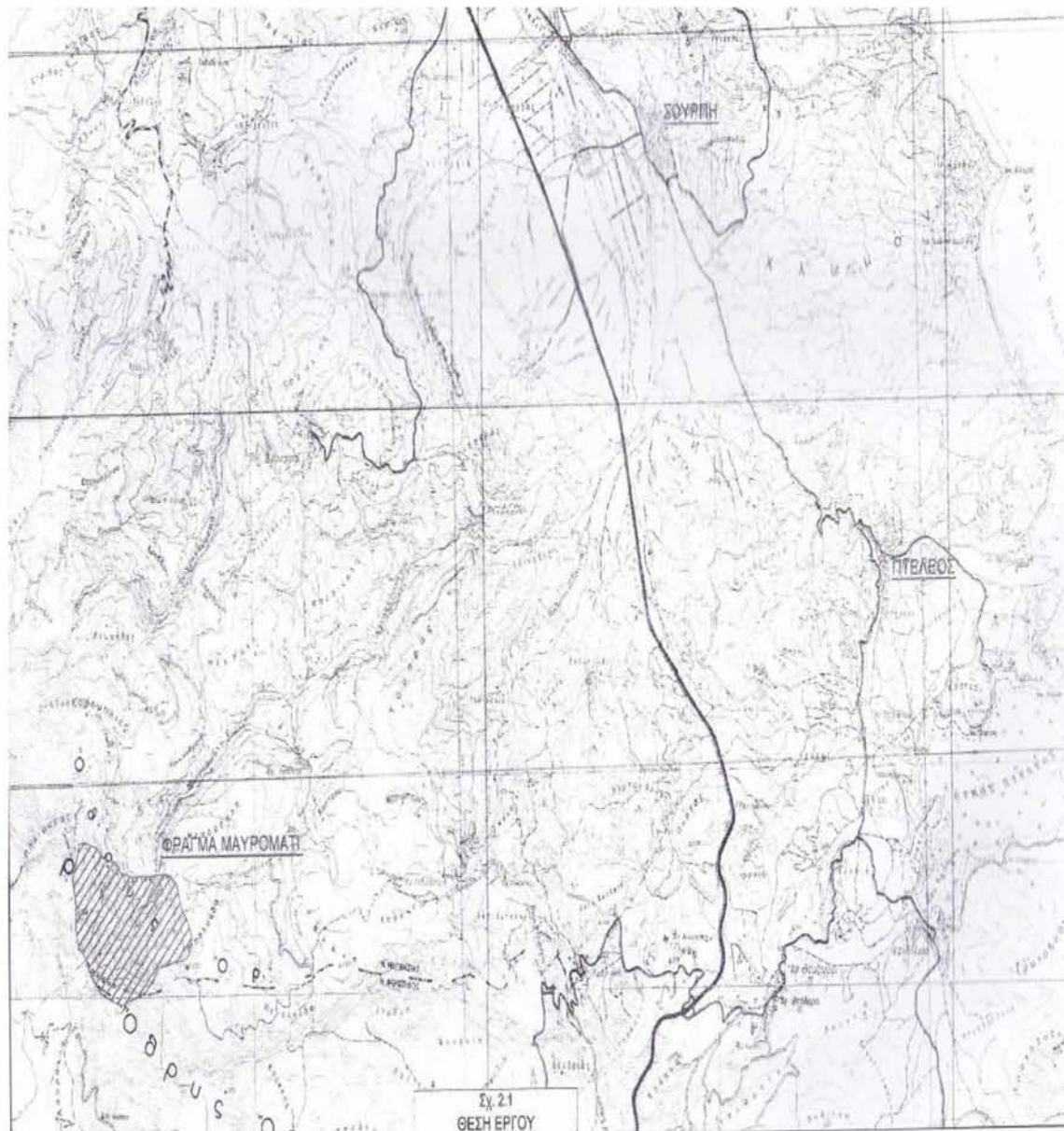
- **Ψιλοβίκος, Α., και Ζαρκάδας Π. (2006).** Μοντέλο προσομοίωσης υδατικού ισοζυγίου της λεκάνης απορροής της λίμνης Καστοριάς, 10⁰ Πανελλήνιο Συνέδριο της Ε.Υ.Ε. : «Διαχείριση Υδατικών Πόρων και Προστασία Περιβάλλοντος. Σύγχρονες Θεωρήσεις, Προβλήματα και Προοπτικές», Τόμος Α΄, σελ. 63-70, Ξάνθη.
- **Ψιλοβίκος Α., (2005).** Αειφορική Διαχείριση Υδατικών Πόρων. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις για το ομώνυμο μάθημα του Τμήματος Γεωπονίας Ζωικής Παραγωγής & Υδάτινου Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ. 210, Βόλος.

ABSTRACT

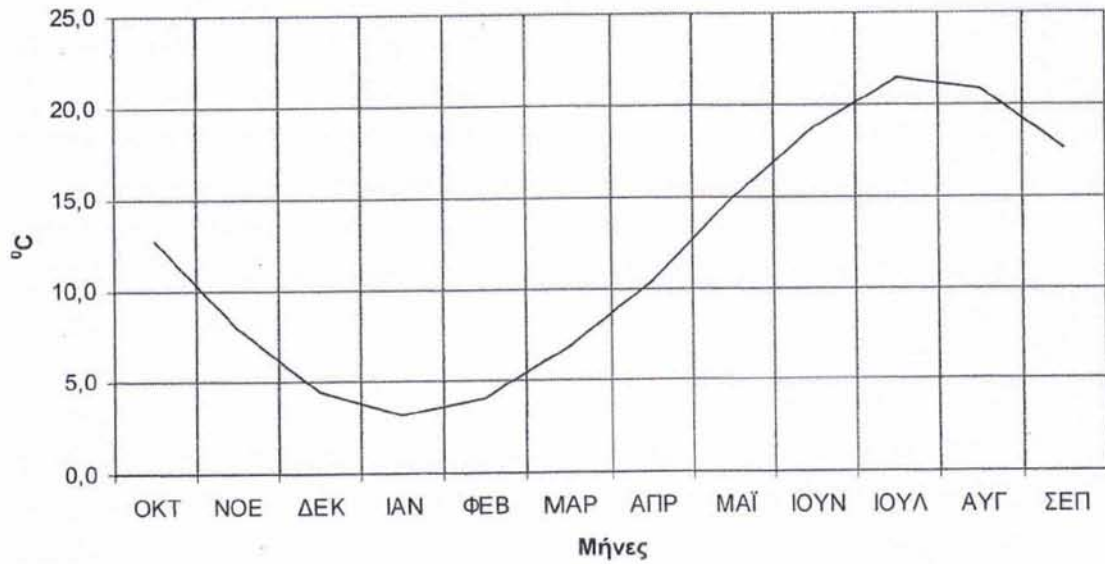
This thesis used a mathematical model of water balance (MedBasin) to investigate the water balance of the basin dam Mavrommatis. The medbasin is a mathematical system that represents a realistic situation, which expresses the breeding behavior and response of a natural system. Hydrological and water balance of a watershed is an expression of the hydrological cycle. The operation of the basin equivalent to the operation of a conceptual water storage tank. As inputs are precipitation and potential evapotranspiration and runoff outputs and actual evapotranspiration. We used rainfall data, evaporation and runoff on a daily basis for the period 2008-2009 which required the model to simulate the measured runoff. The daily values of rainfall and potential evapotranspiration in the center of gravity of the basin, are used as input data, while the daily and monthly runoff is the result of exporting the model in a diagram.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ, 1: 50000



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΤΗΣΙΑΣ ΠΟΡΕΙΑΣ ΜΕΣΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ
ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΑΥΡΟΜΑΤΙ**



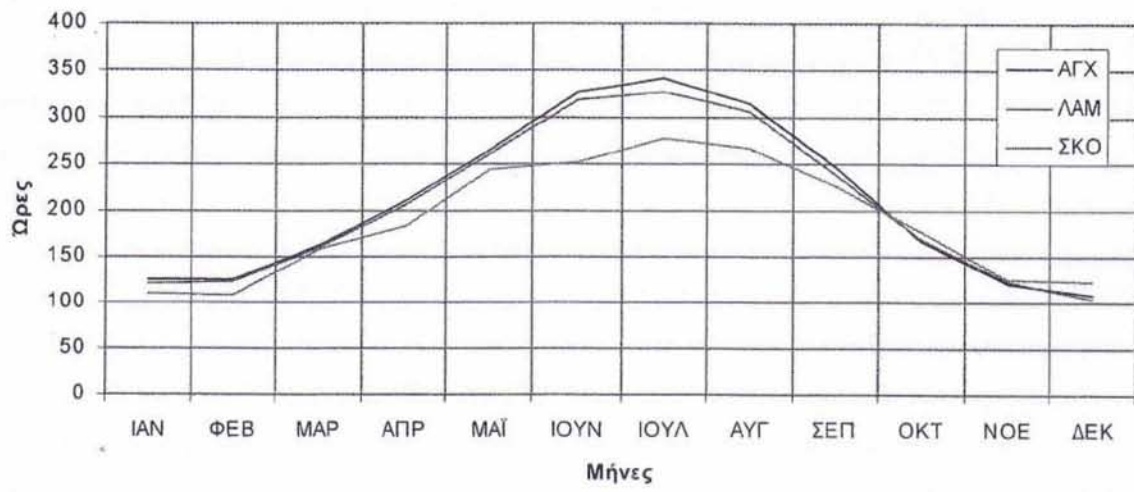
Ετήσια πορεία μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας της λεκάνης Μαυρομάτι

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΣΗΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ

ΜΑΥΡΟΜΑΤΙ

ΜΕΣΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΕΚΑΝΗΣ Ρ. ΜΑΥΡΟΜΑΤΙ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ													
Υδρ. Έτος	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1971 - 72	9,8	7,4	3,7	1,6	2,3	5,6	10,6	13,4	18,8	19,1	18,8	14,5	10,5
1972 - 73	7,6	8,4	2,5	0,5	3,2	2,0	7,9	16,3	18,2	22,1	18,9	17,2	10,4
1973 - 74	12,4	7,2	5,1	2,2	4,3	5,1	7,2	12,6	17,1	20,0	20,1	17,0	10,9
1974 - 75	12,0	6,8	3,6	2,0	1,0	6,4	10,8	14,0	16,9	19,9	18,9	19,3	11,0
1975 - 76	12,4	6,6	2,9	3,2	1,9	5,0	9,9	14,2	16,7	18,9	17,8	15,9	10,5
1976 - 77	12,6	7,5	3,6	4,0	8,8	8,5	9,9	16,0	17,9	22,1	21,2	15,8	12,3
1977 - 78	11,2	10,4	1,8	1,0	5,0	7,0	8,5	14,0	17,9	21,1	20,1	14,9	11,1
1978 - 79	10,8	5,0	5,6	3,6	4,7	8,6	8,8	15,3	19,4	20,8	21,0	17,4	11,8
1979 - 80	12,9	7,8	5,6	1,3	3,5	5,9	8,5	11,9	18,5	22,7	21,5	19,2	11,6
1980 - 81	14,3	11,5	4,5	-0,2	3,7	10,7	11,4	13,6	20,9	22,3	21,2	20,0	12,9
1981 - 82	16,9	7,2	9,0	4,6	2,9	8,6	11,6	16,0	19,7	22,0	22,7	19,1	13,4
1982 - 83	13,1	6,4	6,3	4,8	2,1	7,7	13,4	17,5	18,1	21,0	20,1	17,7	12,4
1983 - 84	12,9	7,3	4,6	4,8	3,3	5,2	8,9	16,2	19,1	21,7	20,1	18,7	11,9
1984 - 85	16,7	9,2	2,9	2,9	4,7	5,9	13,8	18,4	19,9	20,9	21,7	18,1	13,0
1985 - 86	11,2	9,3	7,0	4,1	3,4	7,3	13,7	16,0	17,9	21,5	22,3	17,6	12,7
1986 - 87	13,6	7,5	2,5	3,9	4,9	1,2	9,7	14,2	19,5	23,6	21,7	21,3	12,0
1987 - 88	12,2	7,9	5,8	6,0	3,8	6,0	11,3	15,6	19,7	24,8	23,1	18,7	13,0
1988 - 89	11,6	4,7	3,7	3,4	5,4	9,4	13,8	13,9	17,6	20,3	21,0	17,9	11,9
1989 - 90	11,5	8,1	5,7	3,3	7,1	11,0	12,6	15,4	18,7	22,0	20,0	17,7	12,8
1990 - 91	14,2	10,8	4,0	3,7	3,0	9,1	9,3	12,4	19,1	20,1	19,9	17,9	12,0
1991 - 92	14,2	8,8	0,3	4,1	3,7	6,7	11,0	14,3	18,0	18,5	22,1	17,5	11,6
1992 - 93	15,1	9,6	2,9	2,0	1,2	6,3	11,5	15,7	19,9	21,1	22,5	17,5	12,2
1993 - 94	16,1	4,9	6,0	5,1	1,3	8,5	9,9	15,8	18,4	21,6	24,2	21,9	12,9
1994 - 95	13,8	6,0	5,4	1,5	6,3	4,8	7,7	13,7	20,4	20,5	18,5	15,7	11,2
1995 - 96	10,8	5,6	6,5	2,5	3,5	3,0	8,5	17,3	19,0	21,2	20,8	16,6	11,3
1996 - 97	10,0	10,0	6,5	5,2	5,2	5,5	6,2	15,8	19,4	22,2	20,2	16,0	11,9
1997 - 98	11,3	8,1	4,8	5,5	6,2	5,2	12,6	14,1	19,5	23,1	23,0	17,2	12,6
1998 - 99	14,1	8,0	2,2	3,2	4,0	6,9	10,3	15,0	18,8	21,5	21,0	17,7	11,9
1999 - 00	15,6	8,7	7,1	0,5	4,5	7,3	12,5	16,5	19,2	24,3	22,0	18,4	13,1
2000 - 01	12,6	12,0	6,2	4,9	5,8	13,1	10,0	15,1	18,7	22,8	21,0	17,7	13,4
2001 - 02	12,8	8,0	-1,1	2,8	4,0	9,1	9,1	14,5	19,4	22,1	21,2	15,8	11,5
Μέση τιμή	12,8	8,0	4,4	3,2	4,0	6,9	10,4	15,0	18,8	21,5	20,9	17,7	12,0

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΑΥΡΟΜΜΑΤΙ



Μηνιαία πορεία ηλιοφάνειας

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΗΝΙΑΙΑΣ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΜΑΥΡΟΜΜΑΤΙ

ΜΗΝΙΑΙΑ ΔΙΑΡΚΕΙΑ (h) ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΛΑΜΙΑΣ													
Υδρ. Έτος	ΥΔΡ. ΛΕΚΑΝΗ: ΣΠΕΡΧΕΙΟΥ			ΥΨΟΜ. 12 m			ΟΡΓΑΝΟ: ΗΛΙΟΓΡΑΦΟΣ				ΦΟΡΕΑΣ: ΕΜΥ		
	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΟΣ
1972 - 73													
1973 - 74													
1974 - 75													
1975 - 76													
1976 - 77				129,7	177,2	209,5	234,6	294,5	330,7	344,9	336,2	213,1	
1977 - 78	208,6	136,0	107,0	86,2	124,9	168,7	182,8	271,4	335,4	343,0	314,9	232,7	2512
1978 - 79	128,5	120,6	124,4	138,3	72,8	190,5	178,9	228,8	306,4	322,7	298,6	233,4	2344
1979 - 80	117,1	109,8	108,9	104,2	99,2	141,0	204,7	250,1	301,0	368,1	295,2	245,4	2345
1980 - 81	172,7	158,3	146,5	106,4	135,2	188,9	243,2	273,2	304,9	324,1	278,4	239,7	2572
1981 - 82	229,7	193,2	136,4	99,8	91,4	154,1	177,5	238,6	344,2	343,3	298,7	245,2	2552
1982 - 83	163,5	135,2	126,0	172,8	150,3	192,6	256,4	295,1	258,5	289,8	286,4	232,7	2559
1983 - 84	168,0	45,4	87,4	137,5	45,5	118,7	135,9	297,5	335,4	364,3	277,0	267,9	2281
1984 - 85	193,8	98,1	73,7	90,3	123,8	91,4	203,8	230,4	341,5	343,5	340,2	271,5	2402
1985 - 86	168,3	116,2	132,6	132,8	92,1	76,3	266,8	244,1	294,4	339,2	327,1	220,7	2411
1986 - 87	141,1	139,8	134,0	108,4	93,5	150,2	184,8	251,0	316,7	310,5	311,0	256,3	2397
1987 - 88	108,9	103,3	98,7	90,4	128,7	190,4	157,5	269,2	288,3	342,7	315,8	236,6	2330
1988 - 89	176,0	128,6	117,3	163,0	135,3	155,0	274,9	254,3	321,2	297,7	328,6	245,6	2598
1989 - 90	194,3	123,0	96,4	149,5	174,6	222,5	210,1	232,8	336,0	315,2	298,0	258,3	2611
1990 - 91	184,3	147,7	73,6	117,9	84,1	118,3	158,8	251,6	345,1	280,8	269,3	237,6	2269
1991 - 92	134,1	130,9	97,8	125,5	171,6	132,3	205,0	181,2	284,5	312,7	337,6	269,2	2382
1992 - 93	174,4	151,9	80,4	173,9	126,0	185,1	228,0	219,6	317,7	328,1	307,2	239,0	2531
1993 - 94	168,3	122,5	104,8	124,4	123,6	216,4	199,4	297,5	358,3	332,9	340,3	312,2	2701
1994 - 95	168,3	127,0	139,6	115,1	159,1	188,7	225,3	301,9	318,2	303,7	267,5	218,8	2533
1995 - 96	174,1	123,7	53,3	39,9	78,7	80,4	197,7	259,0	308,0	305,9	316,3	225,5	2162
1996 - 97	140,4	147,9	91,0	145,1	171,8	176,8	187,1	355,5	307,6	347,6	291,8	202,0	2565
1997 - 98	174,5	77,1	94,8	104,4	147,7	159,6	220,9	225,4	338,4	370,7	315,2	198,6	2427
1998 - 99	192,1	104,3	71,7	130,4	136,5	162,8	232,4	249,8	316,3	315,0	315,3	194,4	2421
1999 - 00	190,9	78,0	114,0	121,1	123,6	159,6	207,2	259,7	316,9	328,1	307,2	239,0	2445
Μέση τιμή	168,3	122,5	104,8	121,1	123,6	159,6	207,2	259,7	317,7	328,1	307,2	239,0	2459